Industry Canada
Research Publications Program

# LINKAGES BETWEEN TECHNOLOGICAL CHANGE AND PRODUCTIVITY GROWTH

*Occasional Paper Number 23*
*May 2000*

***Industry Canada Research Publications Program***

The Industry Canada Research Publications Program provides a forum for the analysis of key micro-economic challenges in the Canadian economy and contributes to an informed public debate on these issues. Under the direction of the Micro-Economic Policy Analysis Branch, the Program s research paper series features peer-reviewed analytical working papers and policy-related discussion papers written by specialists on micro-economic issues of broad importance.

The views expressed in these papers do not necessarily reflect the views of Industry Canada or of the federal government.

100-07464/

Industry Canada
Research Publications Program

# LINKAGES BETWEEN TECHNOLOGICAL CHANGE AND PRODUCTIVITY GROWTH

*By Steven Globerman*
*Western Washington University*

*Occasional Paper Number 23*
*May 2000*

*Aussi disponible en français*

**Canadian Cataloguing in Publication Data**

Globerman, Steven

Linkages between technological change and productivity growth

(Occasional paper; 23)
Text in English and French on inverted pages.
Title on added t.p.: Liens entre changement technologique et croissance de la productivité.
Includes bibliographical references.
ISBN 0-662-64787-4
Cat. no. C21-23/23-2000

1. Technological innovations Canada.
2. Industrial productivity Canada.
I. Canada. Industry Canada.
II. Title.
III. Series: Occasional paper (Canada. Industry Canada).
IV. Title: Liens entre changement technologique et croissance de la productivité.

HC79.T4G56 2000 338.'064'0971 C00-980118-9E

---

The list of titles available in the Research Publications Program and details on how to obtain copies can be found at the end of this document. Abstracts of research volumes and papers published in Industry Canada's various series, and the full text of our quarterly newsletter, *MICRO*, are available on *STRATEGIS*, the Department's online business information site, at http://strategis.ic.gc.ca.

Comments should be addressed to:

Someshwar Rao
Director
Strategic Investment Analysis
Micro-Economic Policy Analysis
Industry Canada
5th Floor, West Tower
235 Queen Street
Ottawa, Ontario
K1A 0H5

Tel.: (613) 941-8187; Fax: (613) 991-1261; e-mail: rao.someshwar@ic.gc.ca

***ACKNOWLEDGEMENTS***

The author would like to thank an unidentified reviewer for helpful comments on an earlier draft.

## TABLE OF CONTENTS


1. INTRODUCTION ..... 1

2. TECHNOLOGICAL CHANGE AND PRODUCTIVITY CHANGE ..... 3
- Productivity Measures ..... 3
- Technological Change ..... 5
  - R&D as a Proxy for Technological Change ..... 6
  - Patents and Other Proxies ..... 7
  - Technological Spillovers ..... 8
  - Technology Embodied in Labour and Capital ..... 9
  - Exogenous and Endogenous Technological Change ..... 10

3. EMPIRICAL STUDIES OF R&D, INNOVATION AND PRODUCTIVITY GROWTH ..... 11
- Econometric Studies ..... 12
  - Canadian Evidence ..... 12
  - Other Studies ..... 15
  - Case Studies ..... 16

4. FACTORS CONDITIONING THE INNOVATION-PRODUCTIVITY GROWTH LINKAGE ..... 19
- International Integration ..... 20
- Management ..... 21
- Education ..... 22
- Intellectual Property Protection ..... 23
- Venture Capital ..... 23

5. TEMPORAL PATTERNS IN THE LINKAGES ..... 25

6. COMPUTERIZATION AND PRODUCTIVITY GROWTH ..... 27

7. AGREEMENTS, DISAGREEMENTS AND UNCERTAINTIES ..... 29

8. FUTURE RESEARCH AGENDA ..... 33

NOTES ..... 37

BIBLIOGRAPHY ..... 41

INDUSTRY CANADA RESEARCH PUBLICATIONS ..... 47

# 1. INTRODUCTION

The purpose of this study is to review and synthesize the relevant literature dealing with the linkages between technological change and productivity change. The two concepts, although theoretically distinct, are often linked in policy discussions, and both are the focus of a wide range of public policies.

Recent commentaries in the popular press have highlighted Canada's stagnating productivity performance relative to that of the United States.[1] Various possible explanations have been suggested including a long-standing concern in Canada about the relatively small amount of research and development (R&D) carried out by firms in this country.[2] Indeed, a number of other possible explanations including government regulations and the decline in the value of the Canadian dollar, which raises the cost for Canadian companies to import productivity-enhancing technology, are also linked to technological change.[3]

A slowdown in the rate of technological change has also been widely bruited as a possible cause of the post-1973 productivity growth slowdown among developed countries. While the evidence (reviewed below) on this issue is inconclusive, there is now a growing perception that major technological developments in computing and telecommunications, including the emergence and growth of the Internet as a major new mode of mass communications, will induce a new and dramatic improvement in productivity growth, as well as in the growth of real incomes.[4]

The propensity of policymakers to look to the promotion of technological activities as an important component of industrial growth strategies is certainly not new, especially in Canada where a debate about the causes and consequences of technological change has taken place over at least three decades.[5] Having implemented one of the most generous R&D tax regimes among OECD countries, the apparent failure of Canadian productivity growth rates to track those of other countries is disappointing. It is also a cause for questioning the faith being reinvested by the Canadian government in offering yet more financial assistance for technological activities.

The linkages between technological activities and productivity changes are complex and difficult to measure. Thus, notwithstanding the relatively large literature on the topic, there is no "conventional wisdom" on either the nature or the magnitude of these linkages. The purposes of this report are to review and synthesize the relevant literature, as well as to highlight important areas for future research and suggest specific research projects.

The report proceeds in the following way. Section 2 sets out the simple theoretical linkages between productivity growth and technological change. It also identifies and evaluates the conceptual and empirical problems associated with specifying and estimating those linkages. Section 3 summarizes and synthesizes empirical studies of the relationships between R&D, innovation and productivity at the levels of both the aggregate economy and individual industries and firms, or groups of industries and firms. Section 4 discusses factors that have been identified as "conditioning" the empirical relationship between technological change and productivity change, including the educational level of the workforce, industrial competition and so forth. Section 5 looks at whether there is any temporal pattern in the observed linkages between technological change and productivity change and what factors might account for any observed pattern. Section 6 focuses on the relationship between computerization and related technological changes in telecommunications and productivity change. The main issue of interest here is whether the "Digital Revolution" is sparking an accelerated growth in productivity and, if not, why. Section 7 identifies the important remaining gaps in our knowledge about the relationship between technological change and productivity change. Section 8 suggests a number of research projects designed to address the gaps identified in the preceding section.

## 2. TECHNOLOGICAL CHANGE AND PRODUCTIVITY CHANGE

While technological change is sometimes identified synonymously with productivity change, the two are distinct, albeit related concepts. Specifically, technological change is a contributor (of greater or lesser importance) to productivity change. Identification of the contribution of technological change to productivity change, in turn, requires some precision in the measurement of the latter.

### Productivity Measures

Productivity measures encompass indexes for individual factors of production, e.g. labour or capital, and indexes for a weighted average of individual factors of production. Productivity measures for individual factor inputs are known as partial factor productivity indices. Productivity measures encompassing all input factors are known as total factor productivity indices. Hence, labour productivity is an index of a series of real output divided by a series of real labour input. The most common index of labour productivity is real output per hour worked. Similarly, capital productivity is an index of a real output series divided by a real capital input series. In fact, output per labour hour is the most widely available productivity measure for international comparisons, as well as inter-industry comparisons.[6]

Multi-factor or total factor productivity (TFP) is constructed as the ratio of real output (or real value added) to a weighted average of inputs, where the weights are the relative importance of each factor in the cost of production. TFP indices are constructed for both gross and net output (value added), where gross output includes intermediate material inputs and net output excludes such inputs.[7] International comparisons most frequently report the ratio of real output to a weighted average of labour and capital inputs.

The growth in the calculated partial or total factor productivity over time is, therefore, a measure of the growth of productivity. When the index is expressed as a rate of change, one obtains an estimated productivity growth rate. Table 1 reports labour productivity growth estimates for a sample of Canadian industries. The main observation worth highlighting is the relatively sharp decline in the rate of productivity growth, post-1973, in all of the sample industries. In most cases, productivity growth continued to decrease throughout the 1980s and 1990s, albeit at a slower pace than in the immediate post-1973 period. This pattern is essentially mirrored in other developed economies. Explanations of productivity performance must therefore be consistent with this striking and ubiquitous observation.

**Table 1**
**Labour Productivity**

| Industry | Annual Rate of Growth | |
|---|---|---|
| | 1963–73 | 1973–92 |
| Agriculture, forestry and fishery | 4.96 | 2.85 |
| Mining and quarrying | 5.37 | 0.91 |
| Food, beverage and tobacco | 3.23 | 1.58 |
| Textile, apparel and leather | 4.46 | 2.40 |
| Wood products and furniture | 3.29 | 2.51 |
| Paper, paper products and printing | 3.10 | 1.22 |
| Chemicals | 4.26 | 0.75 |
| Non-metallic mineral products | 3.88 | 0.68 |
| Basic metal products | 2.88 | 2.33 |
| Metal products | 3.44 | 0.93 |
| Agricultural and industrial machinery | 3.95 | 3.41 |
| Electrical goods | 4.09 | 3.83 |
| Transportation equipment | 5.95 | 1.99 |
| Other manufacturing equipment | 4.01 | 0.46 |
| Electricity, gas and water | 5.16 | 1.41 |
| Construction | 2.48 | 1.23 |
| Wholesale and retail trade | 2.17 | 1.29 |
| Restaurants and hotels | 1.26 | –0.55 |
| Transport and storage | 5.47 | 1.89 |
| Communications | 6.03 | 5.69 |
| FIRE and business services | 1.70 | 1.21 |
| Community and personal services | 1.03 | 0.52 |

Labour productivity is measured by gross output per hour worked.
Source: Gera, Gu and Lee (1998b).

The causes of observed changes in productivity performance will be conditioned, in part, by the way in which productivity is measured. For example, in the case of partial productivity measures, productivity growth rates or levels can be higher in one country (or one industry) than another either because the two use different combinations of factor inputs, or because one uses a factor input more efficiently than the other. An obvious illustration is provided in the case of the labour productivity measure. Labour productivity will ordinarily increase as capital is substituted for labour due to the diminishing marginal productivity of variable inputs. Hence, labour productivity will ordinarily be higher in more capital-intensive economies, industries and firms, all other things constant. At the same time, labour productivity might be higher in specific economies or organizations because labour is used more efficiently holding the input of capital constant.

The use of TFP measures mitigates the impact of factor substitution on measured productivity performance and, hence, isolates the consequences of "pure" efficiency gains more precisely. Nevertheless, there are complications shared by both partial and multi-factor productivity measures that can potentially give rise to misleading or inappropriate conclusions about the behaviour of productivity. For example, productivity measures should, in principle, account for both the quantity and quality of output(s) and input(s); however, incorporating quality changes meaningfully into output and input series presents a very difficult challenge.[8]

Another complication is the emergence of new outputs over time. To the extent that price indices used to deflate monetary measures of outputs and inputs to their real values are based upon baskets of outputs that are not perfectly representative of the actual mix of outputs purchased, price indices (and real output measures) will be biased. This implies biases in the calculated productivity indices.

Divergences between the output weights used to develop price indices and actual output weights are virtually certain to occur as statistical agencies such as Statistics Canada and the Bureau of Labor Statistics use a defined basket of goods as output weights for a discrete period of time. An implication is that measured productivity is unlikely to be an accurate measure of "true" productivity at any point in time. Moreover, if factors contributing to measurement errors vary in importance over time, even the temporal performance of measured productivity can be an inaccurate guide to true productivity trends.[9]

## Technological Change

In its broadest sense, technological change can be thought of as the rate at which new production processes and products are introduced and adopted in the economy. The former is traditionally identified as the innovation stage, while the latter is identified as the diffusion stage. Most observers contend that any distinction between the innovation and diffusion stages of technological change is arbitrary, since diffusion involves continuous adaptation and improvement of the initial innovation. The introduction and adoption of new production processes and products presumably enable society to enjoy higher levels of real output holding constant the services of traditional inputs such as labour and capital. Hence, it should lead to increased productivity. Similarly, a faster rate of growth of technological change should lead to a faster rates of productivity growth, all other things constant. In this context, technological change is not necessarily a "free lunch." That is, real resources must be

expended to encourage technological change. However, the presumed net result is still increased real output given any initial endowment of factor inputs.[10]

New production processes often require the introduction and adoption of new products, e.g. new capital equipment, in order to be used. Hence, there is often no clear dividing line between a new process and a new product. Nevertheless, economists tend to think of new processes as primarily leading to reductions in conventional costs of production, whereas new products primarily lead to direct increases in the welfare of consumers by offering either new attributes or greater "conventional" attributes for the same price as older products (or a lower price).[11] While there is no implication that one form of technological change is more desirable, cost-reducing innovations are often more readily identifiable than "quality" improvements to existing products.

As noted above, technological change leads to increased productivity by increasing the real output (or, equivalently, the real income) of society that is attainable with the available productive resources. It might be noted that meaningful increases in real income also arise from reductions in "undesirable" outputs in the economy, such as pollution, crime and disease. Hence, technological change does not have to be associated with increases in material wealth in order to improve productivity.

The conceptual and practical problems associated with measuring technological change are, if anything, even more severe than those associated with measuring productivity change. Indeed, it is difficult to conceive of a single measure that would accurately reflect the complex and heterogeneous nature of technological change. As a result, various proxy measures are used by economists.

### *R&D as a Proxy for Technological Change*

Perhaps the most widely used proxy for technological change is research and development (R&D) expenditures.[12] The straightforward presumption is that R&D is a necessary, albeit not sufficient, prerequisite for technological change. While there is much direct and indirect support for this presumption, it is much less clear that there is a precise and consistent relationship between R&D and technological change. For example, it is sometimes argued that the linkage between R&D and technological change is stronger during specific historical periods than others. Thus, it has been argued that the basic science "available" to be exploited by commercially oriented R&D was more abundant at various

times prior to the mid-1900s, which is partially why rates of technological change (and productivity change) slowed during the post-1973 period.

It has also been argued that the nature of the R&D activities undertaken will condition the latter's linkage to technological change. For example, while it is conventionally assumed that R&D carried out in the private sector has a larger direct impact on productivity than R&D carried out in government or university laboratories, the indirect impact of non-profit R&D, especially basic research, can be quite large. Specifically, research carried out by non-profit organizations can be complementary to the R&D carried out by for-profit concerns. This leads to the possibility that both the "mix" and the quantity of R&D carried out in society influence subsequent rates of productivity change.[13] The evidence relating the composition of R&D to productivity and real economic growth will be reviewed in a later section.

The measurement of the stock of R&D capital, as an approximation of the stock of technical knowledge, is also subject to some of the problems that plague the accurate measurement of productivity growth. Two particular challenges complicate the construction of R&D capital stock measures: 1) deciding upon the appropriate depreciation rate for historical R&D expenditures,[14] and 2) determining the "correct" weight for R&D conducted outside the firm (or industry, or nation) to combine this potential source of borrowed or acquired technical knowledge with "own" R&D expenditures.[15]

Notwithstanding these measurement problems, R&D measures continue to be the most widely used proxies for technological change.

### *Patents and Other Proxies*

Patents are prominent among other proxy measures of technological change. Whereas R&D expenditures are input-based proxies, patents are presumably output-based proxies. All other things constant, output-based proxies should be more meaningful than input-based proxies. Nevertheless, there are a number of well-known shortcomings associated with using patent intensities as measures of technological change. One is that patents may not be needed for technological activities where trade secrecy is a robust means of protecting intellectual property. A second is that simple patent counts are not necessarily indicative of the commercial significance of the underlying technology, or of the productivity impact of the underlying technology, all else constant. Indeed, patenting in some circumstances may be motivated primarily by a desire to increase the costs of entry facing potential rivals, in which case the major direct outcome of patenting activity is to generate monopoly profits rather than real

productivity improvements. These caveats suggest caution in linking productivity change to patenting activity in order to assess the linkages between technological change and productivity change.[16]

In other cases, statistical or case studies focus on specific innovations and link the introduction and adoption of those innovations to the productivity performance of an industry.[17] The focus on specific innovations and their utilization allows a more detailed evaluation of the rich set of background factors that ordinarily condition managerial decisions to implement new technology, as well as the consequences of creating and implementing new technology. On the other hand, such focus limits the extent to which the findings can be generalized. Also, many innovations cannot be easily identified or segmented for purposes of specific study. For example, it is often difficult to identify organizational changes that may, in turn, affect productivity, or else specific changes are linked to other ongoing changes so that one is trying to attribute individual effects to what is really a set of joint "technological" inputs.

### *Technological Spillovers*

Any measure of technological change needs to acknowledge that technological change going on outside the unit of analysis, whether that unit is an individual firm, an industry or a country, will affect the linkages between technological change and productivity change within the unit. Indeed, technological change occurring outside the unit can affect technological activities within the unit by altering the relevant marginal products and marginal costs of those activities.

The relevant concept here is technology spillover, which may be thought of as new technology created by specific organizations that is appropriated by other organizations without compensating (fully or at all) the creators for the value of the technology appropriated. An implication is that the productivity impacts of technological change may extend over a much broader range of organizations than those performing the bulk of the R&D, patenting and related activities associated with the technology in question. A related implication is that observing individual (or groups of) organizations performing relatively small amounts of R&D or patenting activity does not necessarily suggest that technological change is unimportant to ongoing productivity change in those organizations. Rather, it might suggest that conventional measures of technological activity are poor proxies for the actual stock of technological knowledge available to these organizations.

There is a substantial literature examining the technology spillover process, as well as the factors conditioning the magnitude of those spillovers.

This literature will be briefly reviewed in a later section. At this point, it is worth noting that the spillover phenomenon is of special potential relevance to Canada. In particular, the presence of relatively high degrees of foreign ownership has been linked to relatively low R&D intensity levels in Canadian manufacturing industries. The latter, in turn, has been linked to Canada's "poor" record in industrial innovation and productivity growth by those who believe that tighter controls on foreign ownership are in Canada's economic interest. On the other hand, proponents of a liberal foreign ownership regime argue that foreign-owned companies are a robust source for importing technology into Canada and therefore reduce the need for Canadian companies to undertake costly indigenous R&D.[18] Evaluation of these two competing positions requires evidence on the magnitude of the returns to indigenous versus "spillover" technology, as well as an assessment of the impacts of foreign ownership on each.

### *Technology Embodied in Labour and Capital*

> "The introduction of new methods of production is so completely intertwined with capital investment that a monumental estimation problem presents itself to those who wish to measure the various influences of capital investment on productivity."
> (Boucher 1981, p. 94)

To the extent that new technology is embodied in labour and capital inputs, a potential identification problem arises. Specifically, it becomes difficult to identify empirically the contribution of "conventional" factor inputs to productivity growth separately from the contribution of new technical knowledge. Some economists have argued that the greatest portion of technological change takes the form of improved inputs, especially capital inputs. To the extent that this is true, increased usage rates of newer inputs will contribute to productivity growth, and it may be difficult to separate the impact of using improved inputs from that of an increased use of inputs, *per se*. A similar consideration applies to situations in which technological change is accompanied by increases in the scale of organizations and industries. That is, it can be difficult to empirically separate the productivity effects of increases in the scale and scope of economic organizations from the effects of implementing and exploiting new technologies, holding scale and scope constant.

### *Exogenous and Endogenous Technological Change*

Complexities in modelling and estimating the linkages between productivity growth and technological change are exacerbated by the potential for direct and indirect simultaneity between the two processes. For example, a disembodied technological change, such as mathematical research that facilitates the implementation of high-speed digital communications networks, may ultimately spur investment in new computers and communications equipment that, in turn, introduces new technology into a wide range of manufacturing and service-sector activities. Productivity improvements resulting from the investment in new computer and communications equipment therefore reflect both the underlying mathematical research, as well as new capital investment. Separating the contributions of each to productivity growth is obviously a difficult empirical task.

## 3. EMPIRICAL STUDIES OF R&D, INNOVATION AND PRODUCTIVITY GROWTH

> "Inventions and innovations have been a major source of technological improvements and productivity gains."
> (Fortin and Helpman 1995, p. 17)

Notwithstanding the widely acknowledged difficulties in identifying the linkages between technological change and productivity growth, there is a vast empirical literature on the subject. Indeed, the size and scope of the relevant literature are far too extensive to summarize thoroughly in this report. Rather, reliance is placed upon reviewing other, fairly comprehensive, summary reviews of the literature along with relatively recent studies that significantly reinforce or amend earlier findings.[19]

There have been two broad approaches to identifying the contribution of technological change to productivity growth. One involves econometric and non-econometric identification of residual TFP growth after all factors potentially contributing to TFP growth (other than technological change) have been identified. This approach is associated with economists such as Edward Denison and Dale Jorgenson.[20] While these studies tend to document the statistical importance of the "unexplained" productivity residual (presumed to be technological change), there is substantial controversy surrounding the interpretation of the residual. In particular, there has been substantial debate surrounding the degree to which the residual reflects biases in the measurement of "conventional" physical capital and other inputs, as well as the contribution of economies of scale related to new production techniques.

A second approach, which is more representative of recent research seeking to identify linkages between technological change and productivity change, incorporates measures of technological change as explicit variables in models of productivity growth. The bulk of these studies focus on R&D performance as the proxy measure of technology; however, some case studies look at specific innovations and their economic effects. Our review of the relevant literature focuses on this second set of studies.

The literature review in this section will give separate consideration to econometric and non-econometric evidence. The primary focus of the review will be to identify and synthesize reported findings with respect to the following issues: 1) the private and social rates of return to R&D and other measures of innovation and technological change; 2) the private and social rates of return to different types of R&D and innovation, e.g. basic versus applied; government-funded versus privately funded; undertaken by for-profit

or not-for-profit (including academic) organizations; and 3) the sources of technology spillovers, e.g. foreign R&D versus domestic R&D.

A second focus of the review is to summarize the specific available findings on these issues for Canada and to identify and explain, if possible, any distinctive differences between the Canadian and non-Canadian experiences.

## Econometric Studies

These studies encompass statistical analyses of the linkages between real output (or productivity) measures and factors determining output (or productivity) changes including measures of technological change. The typical "setup" in these studies is to express the real growth of (or differences in) output as a function of the real growth of (or differences in) "conventional" factor inputs including labour and capital, and non-conventional inputs such as the services of R&D capital. Within a Cobb-Douglas (or a more flexible) production function framework, we can get direct estimates of output elasticities. In related models, the real output equation is transformed into a productivity specification. For example, labour productivity may be expressed as the difference in the growth rates of real output and real labour input. In models where the dependent variable is a measure of productivity, the estimated coefficients of the "technological change" variables are rates of return to technology inputs such as R&D.[21] The constant term is interpreted as a measure of the rate of "disembodied" technological change — that is, productivity growth unrelated to the growth in explicit technology input variables.

### *Canadian Evidence*

Bernstein (1988) provides econometric evidence on private and social returns to R&D in Canada for a set of industries. He identifies the relative and absolute importance of spillovers through the fact that social rates of return to R&D investment are substantially higher than private rates of return. In fact, inter-industry spillovers are relatively small for all of the sample industries. Conversely, intra-industry spillovers are relatively large, particularly in industries that have a relatively large R&D spending propensity.[22]

The orders of magnitude are as follows: the social rates of return to R&D capital (net of depreciation) in industries with a larger R&D spending propensity are slightly more than double the 11.5 percent net private rate of return. Social rates of return to R&D capital in other industries are somewhat less than double the net private rate of return.

Bernstein also provides some evidence on the relationship between R&D spillovers and R&D performance in his sample. Specifically, inter-industry spillovers act as a substitute for the R&D capital input of the firm itself in every sample industry. The effect is quite pronounced, especially in industries with a relatively low propensity to spend on R&D capital. The intra-industry spillover effect on the performance of "own" R&D is smaller in absolute value than the inter-industry spillover effect. In industries with a relatively low R&D propensity, R&D spillovers discourage the performance of own R&D. In industries with a relatively high R&D propensity, there is a complementary relationship between intra-industry spillovers and own R&D performance.

Bernstein does not identify the specific channels through which spillovers occur, and he mentions this as an important focus for extending his work. It is perhaps suggestive that in the five industries where there is a significant difference between Canadian and foreign-owned firms' response to intra-industry spillovers, the unit costs of foreign-owned firms decrease relatively more than those of their Canadian counterparts. This result suggests that foreign direct investment may be an especially robust channel for intra-industry technology spillovers.

In a related study, Bernstein (1989) identifies the R&D spillovers from one Canadian industry to another. Nine separate manufacturing industries are examined for the period 1963–83. He finds substantial variation across receiving countries with respect to the number of industries generating spillovers. As well, spillover elasticities for the receiving countries were significantly different from each other. All nine industries had consistently high private returns to R&D. This latter result is not supported by a number of other Canadian studies. However, Bernstein's finding that social rates of return substantially exceed private rates of return is consistent with other studies. Industries with a relatively high R&D intensity did not necessarily have a higher rate of return on R&D capital. Nor were they consistently the major sources of R&D spillovers.

In a more recent study, Bernstein (1996) focuses on technological spillovers associated with R&D activity in the communications equipment industry. He finds substantial spillovers from this industry to the entire Canadian manufacturing sector. In terms of relative importance, however, the R&D spillovers from the U.S. manufacturing sector have a greater impact on Canadian manufacturing factor intensities than spillovers from the domestic communications equipment industry. At the same time, there are spillovers from both the Canadian manufacturing sector and the U.S. electrical products industry to the Canadian communications equipment industry. The R&D capital

from the U.S. electrical products industry has a greater impact on the production structure of the Canadian communications equipment industry than R&D capital from the Canadian manufacturing sector.

Bernstein's study of the communications equipment industry further underscores the importance of international technology spillovers to Canadian industries. Specifically, he finds that spillovers from the U.S. manufacturing sector accounted for around three-quarters of the average annual rate of productivity growth in all Canadian manufacturing industries. The important spillovers from the Canadian communications equipment industry are underscored by the differences between the private and social rates of return to R&D in that industry. Specifically, the social rate of return to Canadian communications equipment R&D capital is estimated at 55 percent, or 225 percent higher than the private rate of return. By contrast, the social rate of return associated with Canadian manufacturing R&D capital is estimated at 21, or 24 percent higher than the private rate of return. The implied negative private rate of return to manufacturing R&D capital is consistent with a number of other studies that fail to identify any within-industry productivity effects of private R&D expenditures in Canadian manufacturing industries. This latter result is a curiosity that remains to be explained satisfactorily.

Mohnen (1992) reviews a number of Canadian and non-Canadian studies of the returns to R&D and presents some original econometric evidence. He notes in his review that there is mixed evidence for Canada. Specifically, a number of studies offer little support to the existence of a strong link between R&D and TFP growth; however, others obtain estimates that are consistent with those found for other countries. His own econometric results suggest a weak linkage between Canadian R&D and TFP growth in Canadian industries.[23] Indeed, in some specifications of the model, there is no statistically significant relationship. He suggests that the issue be re-addressed with new data and new models. In particular, a more disaggregated analysis might provide a clearer picture of why the impact of R&D performed in Canada differs from that of R&D performed elsewhere.

With respect to other characteristics of R&D, Mohnen tends to confirm "conventional wisdom". In particular, social returns to R&D are substantially higher than private returns, and returns are higher on company-financed R&D than on publicly financed R&D. The latter result underscores the indirect contribution of publicly financed R&D, i.e. it is a complement to privately financed R&D.

The previously cited findings of relatively low private rates of return to R&D expenditures by Canadian manufacturing firms seemingly belie the wisdom of frequent calls for increased government encouragement of private R&D expenditures. Indeed, they may suggest that Canada's relatively generous framework of support for private sector R&D encourages a substantial number of marginally profitable innovation activities. Alternatively, they may suggest that the environment for exploiting industrial scientific "breakthroughs" in Canada is unfavourable, and that the breakthroughs, such as occur, are exploited by the user companies in ways that do not directly improve the productivity of Canadian manufacturing establishments. For example, new industrial knowledge might be used primarily by the foreign affiliates of Canadian multinational companies.[24] Given the paucity of evidence bearing upon this issue, it is impossible to do more than speculate on the plausibility of both the reported findings on private returns to Canadian industrial R&D, and the explanations of those findings.

### *Other Studies*

Griliches (1998) summarizes the results of extensive econometric studies of rates of return to privately and publicly funded R&D in the United States. These returns tend to cluster in the range of 18 to 20 percent. He highlights the fact that there is no differential impact of federal versus private company R&D dollars on the levels and rates of growth of total factor productivity at the firm level, although differences are evident at the industry level. It is suggested that the latter result reflects the differential rates of government R&D funding across industries. To the extent that government funding is concentrated in areas where private funding would otherwise be "excessively low" from the perspective of social efficiency, perhaps because the returns to R&D are particularly difficult to appropriate in those areas, differences between returns to privately and publicly funded R&D should be expected. The studies almost uniformly show substantial and significant returns to own R&D.[25] Significant spillovers from R&D conducted outside the firm are also documented.[26]

The difficulty with identifying returns to own R&D and R&D conducted outside the organization is that own R&D may enable the organization to better exploit available R&D spillovers. Studies tend to show that the interaction between a firm's R&D stock and foreign R&D spillovers is generally positive and significant.[27] This result is consistent with findings that foreign technology spillovers are a complement to the firm's own R&D. This complementarity was noted earlier in Canadian studies referenced. What is less well established in the literature is how the nature of internally performed R&D affects the ability of an organization to benefit from technology spillovers. For example, is applied

research more complementary to technology spillovers than expenditures on process and product development? The issue seems especially relevant for Canada, given the prominent contribution that foreign technology spillovers make to productivity growth in this country.

Available evidence suggests that returns to R&D vary with the nature of the R&D undertaken. For example, the rate of return to basic research is higher than the rate of return to R&D expenditures, on average (Griliches 1998).

### *Case Studies*

Case studies of specific innovations provide another approach to examining the social and private returns to innovation. Such case studies are subject to the familiar criticism that their results cannot necessarily be generalized. However, they tend to be consistent with the outcomes of econometric studies. Hence, in combination with econometric studies, case studies tend to paint a fairly consistent picture of the impacts of innovative activities.

Mansfield (1996) summarizes a number of major case studies of industrial innovations including some of his own work. The innovations identified primarily took place in manufacturing industries, albeit covering a wide range of manufacturing activities. Many of the innovations studied were of "average" importance, so as to avoid the obvious bias of focusing on particularly successful innovations. While social rates of return vary across innovations, they are typically quite high, i.e. generally in the range of 30 to 50 percent, and sometimes much higher. Typically, these estimated social rates of return are substantially higher than the corresponding private rates of return, and the gap is especially pronounced for major innovations.

Baily and Chakrabarti (1988) examine four industries (chemicals, machine tools, electrical power and textiles) quite intensively. Based upon case studies, they argue that the evolution of technology has been a vital part of the productivity performance of these industries.

Griliches (1998) summarizes several other case studies, particularly those focused on government-supported innovative activities. These studies also confirm the existence of very high rates of return to innovation. For example, the rate of return to R&D expenditures by NASA is about 40 percent per year in perpetuity. This is more than double the rate of return to all other types of R&D undertaken in the United States. However, Griliches offers a number of strong methodological criticisms of these studies.

Existing research tends to conclude that publicly financed R&D has a lower rate of return that privately financed R&D. In part, this reflects the "non-commercial" nature of much of the R&D financed and undertaken by governments. However, government-financed R&D, on average, generates spillovers for private R&D endeavours. Specifically, it reduces the cost to industries and thus enhances their productivity growth. However, it also seems that publicly financed R&D "crowds-out" company-financed R&D in many industries (Mamuneas and Nadiri 1996).

Patent data indirectly support the conclusion that technological activity undertaken in government and university laboratories leads to significant scientific benefits. For example, Henderson, Jaffe and Trajtenberg (1998) examine a comprehensive database consisting of all U.S. patents granted to universities or related institutions from 1965 until mid-1992. They show that, averaged over the whole period, university patents are both more important and more general than the average patent, but that this difference has been declining over time. Their measure of importance is the number of "citations received". Given the government's funding priorities, it is not surprising that university patenting is particularly intensive in the areas of pharmaceuticals and medical technologies.

To be sure, scientific significance does not equate to "commercial" significance. Especially in the health care area, there has been substantial controversy surrounding the issue of whether technological innovation has improved efficiency, on balance, or whether the costs have exceeded the relevant benefits. The critical notion here is that hospitals compete against each other, in part, by investing in new technology. Since the expected private returns to investment in new diagnostic and treatment procedures include the net revenues competed away from other hospitals, the average social rate of return to introducing new technology in individual hospitals might well be lower than the average expected private rate of return. This controversial issue is difficult to resolve empirically. Indeed, case studies highlight the difficulties associated with quantifying the net benefits of new technology and, by extension, publicly funded technological activities in this area.

Perhaps the most careful attempt to quantify the net benefits of new health care technology is Baily and Garber's (1997) comparison of the relative productivity of the U.S., British and German health care systems in treating a set of illnesses, including diabetes, breast cancer, lung cancer and gallstones. In their comparison, the authors try to incorporate morbidity and mortality among patients into their productivity estimates. For our purposes here, their main finding is that technology adoption was an important factor affecting

productivity. Specifically, faster adoption of new techniques such as CT scans generally improved productivity.

Critics of the Baily and Garber study highlight the crucial importance of their assumptions about morbidity and the controversial nature of these assumptions. In effect, output measurement problems cast some doubt on the reliability of their conclusions.[28] In a similar vein, biases in the measurement of "quality-adjusted" output in the pharmaceuticals industry render estimates of the net benefits of new drugs highly uncertain.[29]

The health care sector is of major importance to technology policy. For one thing, it is a relatively large sector in developed economies, and productivity growth in that sector is extremely important to the successful containment of spending growth without the sacrifice of accessibility and service quality. For another, it is the focus of a substantial amount of innovation activity in developed countries, particularly government-funded innovation activity. The serious lack of knowledge about the net social benefits of this activity therefore constitutes a substantial and worrisome gap in our understanding of the technological change process and the factors conditioning this process. This may be a particularly relevant criticism for Canada. Although Canada spends absolutely and relatively less than the United States on promoting health care technology, the presumption has been that Canada benefits from technology spillovers in this sector, as it does in the manufacturing sector. However, the previously cited studies of technology spillovers in Canadian industries shed little light on whether the spillover phenomenon extends to "public sector" activities such as health care. For example, it can be conjectured that Canadian health care suppliers, under the direction of government policy makers, may be relatively slow to adopt new technology developed outside the country.

## 4. FACTORS CONDITIONING THE INNOVATION-PRODUCTIVITY GROWTH LINKAGE

This section of the report reviews and synthesizes evidence about the factors that increase or diminish the contribution of technological change to productivity growth. In effect, it focuses on factors that promote closer and stronger linkages between technological change and productivity change. These factors can operate on at least two levels: 1) they can encourage a faster rate of technological change by accelerating and/or deepening the introduction and diffusion of new "best practices"; 2) They can promote the more effective commercialization and use of new best practices.

Factors that have been identified as relevant in this regard include: 1) the education and skill level of the workforce; 2) the extent of competition in domestic industries; 3) the openness of the domestic economy to foreign trade and foreign direct investment; 4) the strength and nature of intellectual property protection; 5) the social "infrastructure"; and 6) government policies of various types.[30]

The linkages between government and private sector research organizations, as well as those among innovating organizations, have been the focus of what has been described in the literature as "systems of innovation." A set of potentially relevant linkages is provided in Table 2. In effect, the concept of a national or international system of innovation codifies the main specific sources of innovation spillovers among and between public and private sector organizations. While some evidence exists about most of the linkages identified in Table 2, the bulk of reliable statistical evidence concerns international linkages.

**Table 2**
**Factors Underlying a National System of Innovation**

| |
|---|
| Linkages with foreign research institutions |
| National tradition of scientific education |
| National funding of basic research |
| Commercial orientation of research institutions |
| Labour mobility |
| Venture capital market |
| Government role in technology diffusion |
| Collaboration with research institutions |
| Inter-firm R&D cooperation |
| Utilization of foreign technology |

Source: Bartholomew 1997, p. 247.

## International Integration

The available evidence tends to provide overwhelming support for the arguments that international trade and foreign direct investment are important channels for the global distribution of new technologies, and that smaller countries such as Canada are disproportionate beneficiaries of international technology flows. There is less agreement on the relative importance of specific alternative modes of international business with regard to linking technological changes to domestic productivity growth.

Potential channels for the international transmission of technical knowledge include: 1) imports of capital goods and intermediate inputs; 2) foreign direct investment; 3) joint ventures and strategic alliances; 4) technology licenses; and 5) migration of skilled labour. Some studies have attempted to evaluate the robustness of these various channels of international technology transfer, although most do not address the issue in any comprehensive manner.

Gollop and Roberts (1981) provide a relatively early contribution to this literature in their study of a sample of approximately 20 U.S. industries. They conclude that foreign-supplied intermediate inputs have important direct and indirect effects on the sectoral productivity growth of their sample of U.S. manufacturing industries. Gera, Gu and Lee (1998b) confirm this broad finding with respect to imported information technology (IT) products. In particular, they conclude that international R&D spillovers from the IT sector played a dominant role in Canada over the period 1971–93. They estimate the rate of return on R&D embodied in IT imports at about 37 percent per year over the period, while it is only around 9 percent per year on R&D embodied in non-IT imports. They also find that international R&D spillovers are insignificant for the United States, although when they distinguish between international R&D embodied in IT and non-IT imports, they find a strong and significant effect of international R&D spillovers embodied in IT imports on productivity growth.

Conversely, Mohnen (1992) focuses on the role of foreign R&D spillovers in Canadian manufacturing. His results do not suggest an effect of foreign R&D as strong as might have been anticipated. Indeed, over the period 1965–83, Mohnen estimates that foreign R&D contributed a modest 2.5 percent to total factor productivity growth in Canadian manufacturing industries. However, this contribution was relatively more significant than the contribution of domestic R&D.

Globerman, Kokko and Sjoholm (forthcoming) provide some additional insight into the nature of international channels of technology spillovers in their study of patent citations by Swedish firms. The authors examine patent citations of Swedish multinational companies (MNCs), as well as small and medium-sized enterprises (SMEs) in Sweden in order to assess whether the sources of the patents cited differ across the two samples. Their results show that Swedish firms use more references to countries with large patent stocks, as well as to countries located close to Sweden. Trade contacts and outward Foreign Direct Investment (FDI) also seem to facilitate technology diffusion. However, there seems to be some differences between MNCs and SMEs regarding the importance of the various technology transfer channels. Most notably, trade contacts appear to be more important for SMEs than for MNCs. A plausible explanation is that the latter enjoy access to information through their network of foreign affiliates, while SMEs must rely more on "arms-length" sources of technological information including foreign trading partners.[31]

Industry-specific studies further support the notion that the importance of specific international channels of technology transfers is "context-specific." For example, international cooperative alliances are a particularly important means for firms to enhance their innovative capability in biotechnology (Bartholomew 1997). Whether this will remain true as major multinational companies emerge as important suppliers of biotechnology products is a matter for speculation.

The preceding results unveil a promising line of inquiry for Canadian research. Specifically, while the available research summarized above strongly suggests the existence of international spillovers to Canada, we are aware of no research that attempts to identify whether firms of different sizes and degrees of international exposure emphasize different international technology transfer channels. In particular, while there is an abundant literature on the nature of the technology transfer mechanism within multinational companies in Canada, the ways in which small and medium-sized enterprises assimilate and use new foreign technology have not been studied extensively.

## Management

The intuitive notion is that the "quality" of management affects the creation and utilization of technology. In principle, "effective" managers should exploit available technology to promote productivity growth within their organizations. While there is some broad support for this intuitive notion in specific industry case studies (Baily and Chakrabarti 1988), there is no consensus on the characteristics that make for "good technology management." Thus, Globerman

(1975) found no systematic evidence that the educational background of managers was a significant factor affecting the adoption of new technology in the Canadian tool and die industry. However, more educated managers seemed more inclined to adopt new computer technology in several service sector industries (Globerman 1984).

In other cases, the influence of management might be indirect. For example, the organizational structure can influence the willingness and capability of firms to adopt and exploit new technologies. Management, in turn, presumably influences the organizational structure. An interesting study in this regard is that of Adams and Jaffe (1996) who find that the productivity-enhancing effects of parent-firm R&D diminish with the geographical distance separating production facilities from the research laboratory, as well as with the "technological distance" between the product field focus of the company's R&D facilities and the company's plants. Another suggestive plant-level study concludes that plants with integrated fabrication and assembly operations appear to use technology more effectively than plants engaged only in fabrication or assembly (Beede and Young 1998).

## Education

It also tends to be "conventional wisdom" that universities and technical colleges can promote the productivity-enhancing effects of new technology by, among other things, encouraging the dissemination of "laboratory" results to industrial practice. In principle, government research institutions can play the same role, although the absence of a teaching function these organizations deprives one mode of faster commercialization of new technology, i.e. the migration of students into industry as researchers and administrators.

Bartholomew (1997) argues that the "academic" environment is an important conditioning factor of national performance in the biotechnology industry. In particular, closer ties between the academic research system and industry, which can take the form of more industrial consulting by academics and more funding of academic research by industry, promote the accumulation and diffusion of technical knowledge. However, the importance of such ties may vary across countries. For example, "small" nations such as Canada may be able to capitalize on the research activities of foreign universities. However, in some industrial activities, the characteristics of Canadian industries may be sufficiently unique that basic and applied research conducted in foreign research institutions would be largely inapplicable in Canada.[32]

Engelbrecht (1997), among others, shows that general human capital is a vehicle of international knowledge transfer associated with productivity catch-up amongst OECD countries. That is, general human capital better equips organizations to exploit potential technological spillovers from abroad.[33] At the same time, scientific expertise in production facilities can promote faster and more effective diffusion of technology from a company's research facilities to its production facilities.

### Intellectual Property Protection

There is a fairly substantial literature assessing the importance of intellectual property protection for the generation and utilization of new technology. The findings of this literature can be summarized as indicating that formal intellectual property protection is of importance only in a few industries, most notably pharmaceuticals and industrial chemicals.[34] For a small country like Canada, stronger intellectual property protection does not seem to be a promising policy to promote more robust linkages between technological change and productivity growth in most domestic industries.

### Venture Capital

Yet another element of conventional wisdom is that venture capital financing must be available to help entrepreneurial firms commercialize new technology and ultimately enable that technology to be used to increase productivity. The available evidence offers no reason to gainsay this piece of conventional wisdom. What is much less clear in the literature is whether venture capital markets are geographically segmented and, if so, what accounts for any such segmentation. Moreover, one should not necessarily presume that concentration of both venture capital sources and high-technology activities implies that government policies encouraging the former will lead to the latter. That is, venture capital sources may "follow" the emergence of technological "centres of excellence" rather than substantially contributing to the creation of such centres.

## 5. TEMPORAL PATTERNS IN THE LINKAGES

This section will address the speculation that the relationship between technological change and productivity change has undergone profound alterations over the post-war period by considering the available evidence on the issue. One hypothesis is that the productivity payoff to science and technology declined in the 1970s and 1980s because the major scientific "breakthroughs" of earlier periods had been largely exploited commercially by the early to mid-1970s. A second hypothesis is that the emergence of new computer and communications technologies and related developments, such as the Internet and the World Wide Web have dramatically increased the productivity returns to investments in technological activities. A third hypothesis is that developments in international trade and investment, as well as increases in the education and skill levels of the workforce, have led to increased intra-national and international spillovers of technology, thereby increasing social rates of return to R&D and innovation but reducing comparable private rates of return.

Griliches (1988) argues against the existence of a secular decline in R&D productivity based upon the observation that manufacturing and agricultural productivity in the United States has exhibited no secular declining trend. He argues that the linkage between R&D and productivity growth is probably more stable and more readily identified in those sectors than in other sectors of the economy. Hence, if R&D productivity were declining, it should be most readily apparent in a declining productivity performance of the manufacturing and agriculture sectors.

Mohnen (1992) provides a comprehensive assessment of the literature relating productivity growth to R&D performance. The studies reviewed are primarily econometric in nature. He interprets the evidence as rejecting the notion that the productivity of "own" R&D has declined over time, but he considers the evidence more equivocal with respect to whether there has been a decline in the productivity of "imported" R&D.

As Fortin and Helpman (1995) note, the decline in labour productivity during the post-1973 period does not seem associated with a decline in the capital-to-labor ratio, at least in Canada. This suggests that technological change may be the culprit. The decline in R&D intensity in many developed countries in the 1970s is potentially consistent with a future decline in productivity, although the decrease in R&D intensity does not seem sufficiently substantial to be a major part of the post-1973 productivity growth slowdown story. The more general view is that "exogenous" events such as the energy

crisis, increased government regulation and a stronger emphasis on "non-commercial" objectives such as environmental remediation are more important explanatory factors.

## 6. COMPUTERIZATION AND PRODUCTIVITY GROWTH

> "Information technology-broadly defined to include computers, software and communications is the most important technology today."
> (Bresnahan and Greenstein 1996, p. 2)

A number of studies focus explicitly on the impact of computerization on productivity change, as well as on the factors conditioning that impact. Siegel (1997) summarizes and evaluates a number of relevant studies. His main point is that earlier studies are potentially unreliable because of biases in the measurement of computer prices and utilization, and because of a failure to explicitly acknowledge that improved labour quality usually accompanies increased computerization.[35] Previous studies also generally ignore the potential for productivity change to influence computerization as well as the reverse. These shortcomings make it likely that earlier studies have produced biased and inconsistent estimates of the linkage between productivity change and computerization.

Siegel attempts to rectify for these shortcomings by estimating a model linking total factor productivity differences across a set of four-digit (SIC) U.S. industries to differences in computer usage, as well as to other independent variables. His results imply that the marginal productivity of investment is higher for computers than for other types of capital. Moreover, he finds a positive and statistically significant relationship between productivity growth and investment in computers, with an excess estimated rate of return on computers of about 6 percent.

Conversely, Stiroh (1998) argues that sectoral differences are crucial in understanding the impact of computers. He examines data on 35 manufacturing and service sectors for the period 1947–91. He finds that the computer-producing sector enjoyed rapid TFP growth over the sample period. For other sectors of the economy, the decline in the price of real computing power encouraged a substitution away from relatively expensive labour and non-computer capital towards relatively cheap computers. However, there is no evidence that this accumulated investment in computing capacity increased TFP in using industries, on average. In a similar vein, Lehr and Lichtenberg (1996) examine trends in computer usage and the effect on productivity growth for a sample of U.S. federal government agencies over the period 1987–92. They find that computer usage contributed to productivity growth, although the impact was not dramatic.

Other studies focus more broadly on "Information Technology" (IT) and its linkages to productivity growth. One notable study in this regard for Canada

is Gera, Gu and Lee (1998a). The authors study the extent to which investments in IT contribute to labour productivity growth in Canada and the United States, and whether domestic and international R&D spillovers from the IT sector are important for labour productivity growth. Their main conclusions are: 1) IT investments are an important source of labour productivity growth across Canadian industries; 2) R&D spillovers in Canada are primarily international in scope; and 3) IT investments and international R&D spillovers embodied in IT imports also have positive and significant impacts on labour productivity growth across U.S. industries, but the results are less robust than for Canada.

The OECD also considered the linkage between investment in information technology and productivity growth in an international context. Its examination underscores the difficulties in reliably identifying the precise linkage, especially in the presence of measurement errors in the relevant variables and an uncertain lag structure among the variables. Hence, while it finds a positive impact of IT capital on productivity in the service sectors of OECD countries, its statistical significance was not confirmed.

Part of the explanation of the somewhat ambivalent findings with respect to the strength of the measured linkages between computerization, investments in IT capital more generally, and productivity growth may reflect a heterogeneous experience across organizations. For example, Antonelli and Marchionatti (1998), among others, argue that only large, vertically integrated firms can "bear" the delays between the adoption of new information technologies and their positive effects on productivity growth.

## 7. AGREEMENTS, DISAGREEMENTS AND UNCERTAINTIES

> "As progress was made, it became clearer how much we still don't know and how thin are our data."
> (Griliches 1998, p. 270)

This section attempts to summarize the major areas of agreement, disagreement and uncertainty surrounding the linkages between R&D and innovation, technological change and productivity growth.

At a relatively broad level, there is a fair degree of consensus on several issues. One is that technological change is, indeed, a major contributor to productivity growth. As a related point, there is also agreement on the fact that this contribution is not uniform across firms, industries and countries, and that the contribution of technological change to productivity growth probably has not changed substantially over the post-war period.

A second point of broad consensus is that social rates of return to R&D (and innovation, more generally) exceed private rates of return by a substantial margin. International technology spillovers are especially important for smaller countries such as Canada. International spillovers take place through a number of different channels including foreign direct investment, trade and strategic alliances. The robustness of these channels varies with the nature of the economic activity; however, it is difficult to generalize about these differences with any precision.

A third point of broad agreement is that attributes of the domestic environment influence the linkages between technological change and productivity growth. For example, the adoption of new technology, as well as the benefits derived from new technology adoption, will be functions of domestic economy attributes such as the exposure of domestic industries to competition, the general educational level of the work force, and the availability of venture capital, among other things. There is much less agreement on the relative importance of these various factors, or on whether and how the importance of individual factors varies across industries or economic activities.

A fourth broad point of agreement is that government-funded R&D has significant private sector spillover benefits, although most of the evidence pertains to U.S. government activity, and the results may be idiosyncratic to an individual government experience. It is also agreed that basic research provides important spillover benefits and is a strong complement to private

sector R&D activities. The factors that condition the spillover benefits from public sector R&D funding and performance are less clear. Obviously, the closer the "integration" between government and private sector research laboratories, the more complementary private and public sector R&D are likely to be. However, it is unclear how to best structure this integration. As well, the literature tends to ignore the "public choice" aspects of any such integration, i.e. will it lead to increased funding of projects with relatively high private rates of return and relatively low social rates of return?

A fifth point of agreement is that formal intellectual property protection is an important determinant of technological behaviour only in some industries.

Finally, virtually all economists agree that the measurement of both productivity change and technological change is highly problematic and that it is likely that "official" estimates are seriously biased. They also agree that the estimation of the relevant linkage between technological change and productivity change is extremely difficult. In particular, it is subject to daunting statistical difficulties, while case study approaches to their issue suffer the potential weakness of being case-specific.

Most of these points of agreement are relevant in the Canadian context. However, there are attributes of the Canadian experience that are arguably less well established than for other countries, especially the United States. In particular, there is a significant body of evidence suggesting that rates of return to R&D are lower in Canada than in other developed countries and, indeed, may be statistically insignificant across broad samples of firms and industries. The reasons for such differences remain unclear, notwithstanding claims that they reflect Canada's industrial structure including relatively high levels of foreign ownership and a relatively large primary manufacturing sector.

From both a Canadian and an international perspective, it seems fair to conclude that we know relatively little about the linkage between technological change and productivity change in major "public sector" activities such as health care and education. Indeed, while it is suggested that the advance in IT technology is, perhaps, the major future source of productivity growth in service industries, most available studies of the linkages between technological change and productivity growth have focused on manufacturing industries and even agriculture. We know comparatively so little about the welfare impacts of technological change in the health care sector, for example, that whether technological change in this sector is welfare improving or welfare decreasing, from a social perspective, is a matter of strong debate.

Correspondingly, most of our understanding of international technology spillovers is associated with the experience of manufacturing industries. Given the size and policy importance of service sectors such as health care and education, the relative paucity of information about international technology spillovers for these sectors is a major shortcoming. In particular, given the very limited "trade" and cross-border investment taking place in these sectors, there are grounds for real concern that Canadian suppliers are not benefiting from the strong spillover benefits realized by Canadian manufacturers.

## 8. FUTURE RESEARCH AGENDA

Identification and prioritization of a research agenda will ultimately reflect the biases of the researcher. For example, Griliches (1998) sets out a research agenda that emphasizes dealing with econometric and variable measurement problems that have plagued earlier statistical studies of the linkage between R&D and productivity growth. Others underscore the merits of a broader focus on the innovation structure of a country including the role that educational and government research institutions play in the innovation and diffusion process.

While it is certainly important to refine our understanding of measurement and econometric problems plaguing statistical identification of the linkage between technological change and productivity change, my view is that Canadian policymakers would benefit more from examinations of more basic issue :

1. Perhaps first and foremost, we know very little about the role of technological change in the delivery of health care services in Canada beyond the obvious fact that new technology has been adopted by Canadian health care providers and that health care practices have changed accordingly. For example, we are far from a consensus about whether technological change is proceeding "too rapidly" or "too slowly" from a productivity perspective. We also know relatively little about the channels through which international technology spillovers occur in this sector, or about the robustness of the channels, or, indeed, whether the institutional arrangements of the Canadian health care sector strongly condition the international technology spillover process. While similar statements can be made about other public sector activities such as education, the relative size and policy prominence of the health care sector would seem to dictate that priority be give to addressing the relevant gaps in our knowledge about this sector.

It would seem that alternative approaches to filling this knowledge gap are potentially viable, although, as noted above, measuring productivity in this sector is extremely difficult. Nevertheless, the emergence of studies identifying the adoption of new procedures and techniques in different countries, as well as the consequences of those innovations, offers the basis for a comparison between Canada and other countries. For example, would econometric or more qualitative studies show that productivity-enhancing medical innovations are being adopted at a slower rate in Canada than elsewhere? If so, what

factors are contributing to this phenomenon? Is international technology transfer to Canada proceeding more slowly in the health care sector than in manufacturing? And so forth.

Obviously, similar questions can be raised about the educational sector. Budgets permitting, a similar research focus on the educational sector could be justified for reasons similar to those relevant to the health care sector. The fact that there is a fairly substantial private educational system offers the basis for an additional perspective on the main issue of interest. Specifically, it enables a direct examination of differences that ownership incentives make in adopting and exploiting new technology to promote productivity growth.

2. As noted above, available evidence suggests that rates of return to privately funded R&D in Canada are generally lower than in the United States and perhaps in other developed countries. The reasons for any such gap are unclear, although numerous hypotheses have been posited. The majority of Canadian studies have focused on the determinants of R&D intensity in Canada, rather than on the determinants of the "marginal productivity" of technology inputs. Yet the latter issue is clearly important, since promoting a higher R&D intensity may be an inferior policy measure if public resources "spent" on improving the "yield" of innovation activities in Canada have larger net social benefits.

There are various approaches to studying this issue. However, it would seem that the most promising approach would involve a number of careful case studies in which relatively homogeneous samples of Canadian firms would be compared to similar samples of foreign firms. The samples could be constructed to represent various manufacturing and service industries. It is unlikely that published data would be sufficiently detailed to permit an adequate examination of the relevant issues. Indeed, it seems more likely that an original data set would need to be constructed.

It is not possible to consider here all the difficulties associated with this task. However, it would seem possible to gather sufficient original data, perhaps through surveys, to produce estimates of productivity growth and of rates of adoption of new production techniques. With data on other firm- and plant-level attributes of the sample organizations, it would seem possible to undertake a statistical examination of the factors conditioning the linkage between productivity growth and new technology adoption. Thus, one might "estimate" productivity growth equations in which the "technology-adoption" variable is "interacted" with variables such as the educational background of

managers and workers, the size and scope of the organization and so forth, to see which factors, if any, significantly enhance or diminish the strength of the linkage between productivity growth and innovation adoption. The values of the significant variables could be compared between the Canadian and non-Canadian samples to shed some light on the specific factors that might account for a lower (or higher) productivity payoff to new technology adoption in Canadian organizations.

3. A third broad focus of the Canadian research agenda might be to contrast and compare the role of Canadian universities to U.S. universities in promoting and enhancing the linkages between technological change and productivity change in Canada. Most of the focus of policy-oriented research in Canada has been on the nature of university-industry collaboration in domestic innovation activities. Virtually no attention (of which we are aware) has been paid to the issue of how Canadian universities bring foreign-developed technology into the Canadian economy, and whether and how Canadian universities are promoting international technology spillovers in Canada. Given the documented importance of international technology spillovers to Canadian productivity growth, this would seem to be of importance to Canadian policy makers.

Various possible approaches might be taken to address this issue. For example, patents issued to Canadian university-based researchers might be examined to identify citations to other patents. Whose patents are being cited? Compared to a comparable sample of, say, Swedish university-based researchers, are Canadian researchers more likely to cite foreign sources in their patent applications, all other things constant? Are Canadian university-based researchers as likely to file patents jointly with foreign researchers as, say, Swedish university-based researchers, or their counterparts in U.S. universities, all other things constant. If patent data did not permit an adequate examination of this issue, it might be feasible to construct an original data set through interviews with Canadian university technology liaison offices.

## NOTES

1 See, for example, Chipello and Ricklefs (1999). There is a good deal of controversy surrounding recent estimates by Statistics Canada of Canadian productivity performance. See, for example, McCarthy (1999).

2 In his February 1999 budget, Finance Minister Paul Martin highlighted the government's view that more R&D and innovation is critical to improving productivity growth in Canada and promised financial incentives to encourage increased technological activity in Canada.

3 *Ibid.*

4 For a temperate perspective on this issue, see Bresnahan and Greenstein (1996).

5 An early seminal review of the technological performance of Canada, as well as its causes and consequences, is provided in the Report of the Senate Special Committee on Science Policy (1970).

6 A non-technical discussion of the various productivity indices is provided in Baily and Chakrabarti (1988). A more technical discussion is found in Wagner and van Ark (1996). It has been shown that for U.S. calculations, productivity measures tend to be in agreement as to which industries have high versus low productivity growth rates; however, this is not necessarily the case for other countries. See Mann (1997).

7 Estimation results can be sensitive to the precise output measure selected, although it is beyond the scope of this report to consider the differences. The interested reader might consult Basu and Fernald (1995).

8 The consequences of failing to adjust accurately for input and output quality changes are discussed in a later section.

9 Englander (1988) reports some evidence suggesting that measurement problems may make it difficult to derive any useful inferences on short-term and medium-term evaluation of total factor productivity.

10 The endogenous growth literature describes the potential for essentially increasing returns to investment in technological change. In effect, the

marginal product of "technology" as an input to production can be expected to increase as expenditures on technology increase. This view cuts against the traditional notion of diminishing returns to any factor input. For an overview of the endogenous growth literature, see Howitt (1996).

11 See, for example, Bernard and Jones (1996).

12 It should be explicitly acknowledged that R&D expenditures are inputs to the technological change process. The usual presumption is that productivity change is directly related to R&D expenditures; however, the nature and magnitude of the linkage between the two quantities is ultimately an empirical question.

13 We shall review the evidence on this and related points in a later section. For a perspective on these issues, see Henderson, Jaffe and Trajtenberg (1998).

14 Lev and Sougiannis (1998) demonstrate empirically that the identification of the (private) economic benefits of R&D expenditures is sensitive to the assumed pattern for amortizing past R&D expenditures.

15 These issues are discussed in Griliches (1998).

16 Issues associated with the use of patents as an indicator of technological change are comprehensively discussed in Griliches (1990).

17 For an example of this approach, see the industry case studies in Baily and Chakrabarti (1988). In the Canadian context, see Baldwin, Diverty and Sabourin (1996).

18 This debate and the surrounding literature is reviewed in Globerman (1985a).

19 Major reviews of the literature can be found in Griliches (1998) and Mairesse and Sassenou (1991).

20 For a review of this literature, see Baily and Chakrabarti (1988).

21 Estimates of the rate of return to investment in R&D can be indirectly derived by multiplying the relevant output elasticities by the appropriate ratios of R&D to capital stocks. See Coe and Helpman (1995).

22 The inter-industry spillover variable is defined as the sum of the R&D capital stocks for all other industries lagged one period. The intra-industry variable for any corporation in the sample industry is defined as the sum of the R&D capital stocks of all rival firms in the same industry, lagged one period.

23 Several industry-specific studies also fail to identify a statistically significant relationship between R&D and productivity growth. For example, Mohnen, Jacques and Gallant (1996) find that R&D in Canada's pulp and paper and wood industries had a minimal impact on TFP growth over the period 1963 to 1988. However, the estimated rate of return, while lower than for some countries such as the United States and Finland, was higher than for others such as Sweden.

24 The large presence of Northern Telecom's manufacturing facilities in the United States suggests the plausibility of this inference in the case of this large R&D performer.

25 Estimated rates of return are in the 30–40 percent range, which is consistent with the results cited by Mohnen (1992).

26 Exceptions to this statement have been identified. For example, Bernstein and Mohnen (1998) find that there are international spillovers from the United States to Japan but not in the reverse direction. As well, the own-R&D variable has been found insignificantly related to productivity growth in other countries beside Canada, for example Korea. See Kim and Nadiri (1996).

27 See, for example, Basant and Fikkert (1996). This is also apparently true for spillovers that occur at the plant level. That is, spillovers affecting plant-level productivity are a function of firm-level R&D intensity. See Adams and Jaffe (1996).

28 See Cutler (1997).

29 For a discussion of this point, see Berndt, Cockburn and Griliches (1996).

30 The relevant body of literature is broadly concerned with national and international systems of innovation. For a seminal contribution to this literature, see Nelson (1993).

31 Henderson, Jaffe and Trajtenberg (1993) examine geographical patterns of patent citations. They find that citations to domestic patents are more likely to be domestic and more likely to come from the same State and Standard Metropolitan Statistical Area compared with a "control frequency" reflecting the pre-existing concentration of related research activity.

32 For a discussion of this issue in the context of the Canadian forest products industry, see Globerman, Nakamura, Ruckman and Vertinsky (1998).

33 More generally, an educated work force presumably enables new technology to be introduced sooner and adopted more quickly in national economies. More literate and numerate workers are easier to train in the use of new technology and, arguably, less likely to resist the introduction of new technology. For a review of the theory and evidence on this issue, see Globerman (1985b).

34 The convergence between pharmaceutical and biotechnology R&D suggests that intellectual property protection is also likely to be of importance to biotechnology companies.

35 A similar point is made in Griliches (1994).

## BIBLIOGRAPHY


Adams, J.D. and A.B. Jaffe. *Bounding the Effects of R&D: An Investigation Using Matched Establishment-Firm Data*. Working Paper No. 5544. National Bureau of Economic Research, 1996.

Antonelli, C. and R. Marchionatti. "Technological and Organisational Change in a Process of Industrial Rejuvenation: The Case of the Italian Cotton Textile Industry." *Cambridge Journal of Economics*, 22, 1 (1998):1–18.

Baily, M.N. and A.K. Chakrabarti. *Innovation and the Productivity Crisis*. Washington: The Brookings Institution, 1988.

Baily, M.N. and A. Garber. "Health Care Productivity," in *Brookings Papers on Economic Activity. Microeconomics*. Edited by M.N. Baily, P.C. Reiss and C. Winston,1997, pp. 143–202.

Baldwin, J., B. Diverty and D. Sabourin. "Technology Use and Industrial Transformation: Empirical Perspectives," in *Technology, Information and Public Policy*. Edited by T.J. Courchene. Kingston: John Deutsch Institute for the Study of Economic Policy, 1996, pp. 95–130.

Bartholomew, S. "National Systems of Biotechnology Innovation: Complex Interdependence in the Global System." *Journal of International Business Studies*, (Second Quarter, 1997):241–66.

Basant, R. and B. Fikkert. "The Effects of R&D, Foreign Technology Purchase and Domestic and International Spillovers on Productivity in Indian Firms." *The Review of Economics and Statistics*, 78 (1996):187–98.

Basu, S. and J.G. Fernald. *Are Apparent Productive Spillovers a Figment of Specification Error?* Working Paper No. 5073. National Bureau of Economic Research, 1995 (mimeo).

Beede, D.N. and K.H. Young. "Patterns of Advanced Technology Adoption and Manufacturing Performance." *Business Economics*, 33, 2 (1998):43–8.

Bernard, A.B. and C.I. Jones. "Productivity Across Industries and Countries: Time Series Theory and Evidence." *The Review of Economics and Statistics*, 78,1 (1996):135–46.

Berndt, E.R., I.M. Cockburn and Z. Griliches. "Pharmaceutical Innovations and Market Dynamics: Tracking Effects on Price Indexes for Antidepressant Drugs." *Brookings Papers on Economic Activity, Microeconomics*, 1996, pp. 133–88.

Bernstein, J.I. "Costs of Production, Intra- and Inter-industry R&D Spillovers: Canadian Evidence." *Canadian Journal of Economics*, 21, 2 (1988):324–47.

____. "The Structure of Canadian Inter-industry R&D Spillovers and the Rate of Return to R&D." *The Journal of Industrial Economics*, 37, 3 (1989):315–28.

____. *R&D and Productivity Growth in Canadian Communications Equipment and Manufacturing*. Working Paper No. 10. Ottawa: Industry Canada, 1996.

Bernstein, J.I. and P. Mohnen. "International R&D Spillovers Between U.S. and Japanese R&D Intensive Sectors." *Journal of International Economics*, 44, 2 (1998):315–38.

Boucher, T. "Technical Change, Capital Investment and Productivity in U.S. Metal Working Industries," in *Aggregate and Industry Level Productivity*. Edited by A. Dogramaci and N.R. Adam. Boston: Martinus Nyhoff Publishing, 1981, pp. 93–121.

Bresnahan, T. and S. Greenstein. "Technical Progress and Co-Invention in Computing and in the Use of Computers." *Brookings Papers on Economic Activity, Microeconomics,* 1996, pp. 1–77.

Chipello, C.J. and R. Ricklefs. "Canada's Low Productivity Clouds Competitiveness, Living Standards." *The Wall Street Journal* (February 9, 1999):A19.

Coe, D.T. and E. Helpman. "International R&D Spillovers." *European Economic Review*, 39 (1995):859–87.

Cutler, D. "Comments on Health Care Productivity," in *Brookings Papers on Economic Activity. Microeconomics*. Edited by M.N. Baily, P.C. Reiss and C. Winston, 1997, pp. 211–13.

Engelbrecht, H.J. "International R&D Spillovers, Human Capital and Productivity in OECD Economies: An Empirical Investigation." *European Economic Review,* 41, 8 (1997):1479–88.

Englander, A.S. *Tests of Total Factor Productivity Measurement.* OECD Working Paper No. 54, Paris: OECD, 1988.

Fortin, P. and E. Helpman. *Endogenous Innovation and Growth: Implications For Canada.* Occasional Paper No. 10. Ottawa: Industry Canada, 1995.

Gera, S., W. Gu and F.C. Lee. *Information Technology and Labour Productivity Growth: An Empirical Analysis for Canada and the United States.* Working Paper No. 20. Ottawa: Industry Canada, 1998a.

____. *Capital-Embodied Technical Change and the Productivity Growth Slowdown in Canada.* Working Paper No. 21. Ottawa: Industry Canada, 1998b.

Globerman, S. "Technological Diffusion in the Canadian Tool and Die Industry." *The Review of Economics and Statistics*, vol. 57, No. 4, 1975, pp. 428–34.

____. *The Application of Computer Technology in the Canadian Life Insurance Industry.*" Ottawa: Supply and Services Canada, 1984.

____. "Canada," in *Multinational Enterprises, Economic Structure and International Competitiveness.* Edited by J.H. Dunning. Chichester: John Wiley and Sons, 1985a, pp. 187–216.

____. "Formal Education and the Adaptability of Workers and Managers to Technological Change," in *Studies in Labour Markets, Research Series of the Royal Commission on the Economic Union and Development Prospects for Canada.* Edited by Craig Riddell. Ottawa: Supply and Services Canada, 1985b, pp. 41–69.

Globerman, S., A. Kokko and F. Sjoholm. "International Technology Diffusion: Evidence From Swedish Patent Data." *Kyklos.* (Forthcoming).

Globerman, S., M. Nakamura, K. Ruckman and I. Vertinsky. "Innovation, Strategy and Canada's Forest Product Industry." *Canadian Public Policy,* vol. 24, Special Issue (1998):S27–40.

Gollop, F.M. and M.J. Roberts. "Imported Intermediate Input: Its Impact on Sectoral Productivity in U.S. Manufacturing," in *Aggregate and Industry Level Productivity*. Edited by A. Dogramaci and N.R. Adam. Boston: Martinus Nyhoff Publishing, 1981, pp. 149–86.

Griliches, Z. "Productivity Puzzles and R&D: Another Non-Explanation." *Journal of Economic Perspectives*, 2, 4 (1988):9–21.

____. "Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey." *Journal of Economic Literature*, 28, 4 (1990):1661–1707.

____. "Productivity, R&D and the Data Constraint." *American Economic Review*, 84, 1 (1994):1–23.

____. *R&D and Productivity: The Econometric Evidence*. Chicago: University of Chicago Press, 1998.

Henderson, R., A.B. Jaffe and M. Trajtenberg. "Geographic Localization of Knowledge Spillovers As Evidenced By Patent Citations." *The Quarterly Journal of Economics* (August 1993):577–97.

____. "Universities as a Source of Commercial Technology: A Detailed Analysis of University Patenting, 1965–1988." *The Review of Economics and Statistics*, 80, 1 (1998):119–27.

Howitt, P. "On Some Problems in Measuring Knowledge-Based Growth," in *The Implications of Knowledge-Based Growth for Micro-Economic Policies*. Edited by P. Howitt. Calgary: The University of Calgary Press, 1996, pp. 9–29.

Kim, S. and M.I. Nadiri. "R&D, Production Structure and Productivity Growth: A Comparison of the U.S., Japanese and Korean Manufacturing Sectors." New York University, C.V. Starr Center for Economic Research, 1996 (mimeo).

Lehr, W. and F. Lichtenberg. *Computer Use and Productivity Growth in Federal Government Agencies, 1987–1992*. Working Paper No. 5616. National Bureau of Economic Research, 1996.

Lev, B. and T. Sougiannis. "The Capitalization, Amortization and Value-Relevance of R&D," in *The Economic Impact of Knowledge*. Edited by

D. Neef, G.A. Siesfold and J. Cefola. Boston: Butterworth Heinemann, 1998, pp. 243–72.

Mairesse, J. and M. Sassenou. "R&D and Productivity: A Survey of Econometric Studies at the Firm Level." *STI Review*, 8 (1991):9–43.

Mamuneas, T.P. and M.I. Nadiri. "Public R&D Policies and Cost Behavior of the U.S. Manufacturing Industries." *Journal of Public Economics*, 63 (1996):57–81.

Mann, C.L. *Globalization and Productivity in the United States and Germany*. International Finance Discussion Paper No. 595. Board of Governors of the Federal Reserve System, 1997.

Mansfield, E. "Microeconomic Policy and Technological Change," in *Technology and Growth*. Edited by J.C. Fuhrer and J.S. Little. Federal Reserve Bank of Boston, Conference Proceedings, June 1996, pp. 183–200.

McCarthy, S. "Manley Brushes Aside Productivity Report." *The Globe and Mail* (March 25, 1999):B5.

Mohnen, P. *The Relationship between R&D and Productivity Growth in Canada and Other Major Industrialized Countries*. Ottawa: Minister of Supply and Services Canada, 1992.

Mohnen, P., R. Jacques and J.S. Gallant. "Productivity and Research and Development in Two Canadian Forest Products Industries." *Forest Science*, 42, 4 (1996):1–11.

Nelson, R.R. (ed). *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*, New York: Oxford University Press, 1993.

Senate Special Committee on Science Policy. *A Science Policy for Canada*, Ottawa: Information Canada,1, 1970.

Siegel, D. "The Impact of Computers on Manufacturing Productivity Growth: A Multiple-Indicators, Multiple-Causes Approach. " *The Review of Economics and Statistics*, 79, 1 (1997):68–78.

Stiroh, K.J. "Computers, Productivity and Input Substitution." *Economic Inquiry*, 36 (1998):175–91.

Wagner, K. and B. van Ark. "Introduction," in *International Productivity Differences: Measurement and Explanations*. Edited by K. Wagner and B. van Ark, Amsterdam: Elsevier, 1996, pp. 1–22.

## INDUSTRY CANADA RESEARCH PUBLICATIONS

### *INDUSTRY CANADA WORKING PAPER SERIES*

No. 1 **Economic Integration in North America: Trends in Foreign Direct Investment and the Top 1,000 Firms**, Micro-Economic Policy Analysis staff including John Knubley, Marc Legault, and P. Someshwar Rao, Industry Canada, 1994.

No. 2 **Canadian-Based Multinationals: An Analysis of Activities and Performance,** Micro-Economic Policy Analysis staff including P. Someshwar Rao, Marc Legault, and Ashfaq Ahmad, Industry Canada, 1994.

No. 3 **International R&D Spillovers Between Industries in Canada and the United States**, Jeffrey I. Bernstein, Carleton University and National Bureau of Economic Research, under contract with Industry Canada, 1994.

No. 4 **The Economic Impact of Mergers and Acquisitions on Corporations**, Gilles Mcdougall, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1995.

No. 5 **Steppin' Out: An Analysis of Recent Graduates Into the Labour Market**, Ross Finnie, School of Public Administration, Carleton University, and Statistics Canada, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 6 **Measuring the Compliance Cost of Tax Expenditures: The Case of Research and Development Incentives**, Sally Gunz and Alan Macnaughton, University of Waterloo, and Karen Wensley, Ernst & Young, Toronto, under contract with Industry Canada, 1996.

No. 7 **Governance Structure, Corporate Decision-Making and Firm Performance in North America**, P. Someshwar Rao and Clifton R. Lee-Sing, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1996.

No. 8 **Foreign Direct Investment and APEC Economic Integration**, Ashfaq Ahmad, P. Someshwar Rao, and Colleen Barnes, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1996.

No. 9 **World Mandate Strategies for Canadian Subsidiaries**, Julian Birkinshaw, Institute of International Business, Stockholm School of Economics, under contract with Industry Canada, 1996.

No. 10 **R&D Productivity Growth in Canadian Communications Equipment and Manufacturing**, Jeffrey I. Bernstein, Carleton University and National Bureau of Economic Research, under contract with Industry Canada, 1996.

No. 11 **Long-Run Perspective on Canadian Regional Convergence**, Serge Coulombe, Department of Economics, University of Ottawa, and Frank C. Lee, Industry Canada, 1996.

No. 12 **Implications of Technology and Imports on Employment and Wages in Canada**, Frank C. Lee, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1996.

No. 13 **The Development of Strategic Alliances in Canadian Industries: A Micro Analysis,** Sunder Magun, Applied International Economics, under contract with Industry Canada, 1996.

No. 14 **Employment Performance in the Knowledge-Based Economy**, Surendra Gera, Industry Canada, and Philippe Massé, Human Resources Development Canada, 1996.

No. 15 **The Knowledge-Based Economy: Shifts in Industrial Output**, Surendra Gera, Industry Canada, and Kurt Mang, Department of Finance, 1997.

No. 16 **Business Strategies of SMEs and Large Firms in Canada**, Gilles Mcdougall and David Swimmer, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1997.

No. 17 **Impact of China's Trade and Foreign Investment Reforms on the World Economy**, Winnie Lam, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1997.

No. 18 **Regional Disparities in Canada: Characterization, Trends and Lessons for Economic Policy**, Serge Coulombe, Department of Economics, University of Ottawa, under contract with Industry Canada, 1997.

No. 19 **Inter-Industry and U.S. R&D Spillovers, Canadian Industrial Production and Productivity Growth**, Jeffrey I. Bernstein, Carleton University and National Bureau of Economic Research, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 20 **Information Technology and Labour Productivity Growth: An Empirical Analysis for Canada and the United States**, Surendra Gera, Wulong Gu, and Frank C. Lee, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1998.

No. 21 **Capital-Embodied Technical Change and the Productivity Growth Slowdown in Canada**, Surendra Gera, Wulong Gu, and Frank C. Lee, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1998.

No. 23 **Restructuring in Canadian Industries: A Micro Analysis**, Sunder Magun, Applied International Economics, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 24 **Canadian Government Policies Toward Inward Foreign Direct Investment**, Steven Globerman, Simon Fraser University and Western Washington University, and Daniel Shapiro, Simon Fraser University, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 25 **A Structuralist Assessment of Technology Policies – Taking Schumpeter Seriously on Policy,** Richard G. Lipsey and Kenneth Carlaw, Simon Fraser University, with a contribution by Davit D. Akman, research associate, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 26 **Intrafirm Trade of Canadian-Based Foreign Transnational Companies,** Richard A. Cameron, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1998.

No. 27 **Recent Jumps in Patenting Activities: Comparative Innovative Performance of Major Industrial Countries, Patterns and Explanations**, Mohammed Rafiquzzaman and Lori Whewell, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1998.

No. 28 **Technology and the Demand for Skills: An Industry-Level Analysis**, Surendra Gera and Wulong Gu, Industry Canada, and Zhengxi Lin, Statistics Canada, 1999.

No. 29 **The Productivity Gap Between Canadian and U.S. Firms**, Frank C. Lee and Jianmin Tang, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1999.

No. 30 **Foreign Direct Investment and Productivity Growth: The Canadian Host-Country Experience**, Surendra Gera, Wulong Gu, and Frank C. Lee, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1999.

No. 31 **Are Canadian-Controlled Manufacturing Firms Less Productive than their Foreign-Controlled Counterparts?** Someshwar Rao and Jianmin Tang, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 2000.

No. 32 **The Canada-U.S. Productivity Growth Paradox**, Serge Coulombe, Department of Economics, University of Ottawa, under contract with Industry Canada, 2000.

### *INDUSTRY CANADA DISCUSSION PAPER SERIES*

No. 1 **Multinationals as Agents of Change: Setting a New Canadian Policy on Foreign Direct Investment**, Lorraine Eden, Carleton University, under contract with Industry Canada, 1994.

No. 2 **Technological Change and International Economic Institutions**, Sylvia Ostry, Centre for International Studies, University of Toronto, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 3 **Canadian Corporate Governance: Policy Options**, Ronald. J. Daniels, Faculty of Law, University of Toronto, and Randall Morck, Faculty of Business, University of Alberta, under contract with Industry Canada, 1996.

No. 4 **Foreign Direct Investment and Market Framework Policies: Reducing Frictions in APEC Policies on Competition and Intellectual Property**, Ronald Hirshhorn, under contract with Industry Canada, 1996.

No. 5 **Industry Canada's Foreign Investment Research: Messages and Policy Implications**, Ronald Hirshhorn, under contract with Industry Canada, 1997.

No. 6 **International Market Contestability and the New Issues at the World Trade Organization,** Edward M. Graham, Institute for International Economics, Washington (D.C.), under contract with Industry Canada, 1998.

No. 7 **Implications of Foreign Ownership Restrictions for the Canadian Economy – A Sectoral Analysis,** Steven Globerman, Western Washington University, under contract with Industry Canada, 1999.

No. 8 **Determinants of Canadian Productivity Growth: Issues and Prospects**, Richard G. Harris, Simon Fraser University and Canadian Institute for Advanced Research, under contract with Industry Canada, 1999.

No. 9 **Is Canada Missing the "Technology Boat"? Evidence from Patent Data**, Manuel Trajtenberg, Tel-Aviv University, National Bureau of Economic Research and Canadian Institute for Advanced Research, under contract with Industry Canada, 2000.

### *INDUSTRY CANADA OCCASIONAL PAPER SERIES*

No. 1 **Formal and Informal Investment Barriers in the G-7 Countries: The Country Chapters**, Micro-Economic Policy Analysis staff including Ashfaq Ahmad, Colleen Barnes, John Knubley, Rosemary D. MacDonald, and Christopher Wilkie, Industry Canada, 1994..

**Formal and Informal Investment Barriers in the G-7 Countries: Summary and Conclusions**, Micro-Economic Policy Analysis staff including Ashfaq Ahmad, Colleen Barnes, and John Knubley, Industry Canada, 1994.

No. 2 **Business Development Initiatives of Multinational Subsidiaries in Canada**, Julian Birkinshaw, University of Western Ontario, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 3 **The Role of R&D Consortia in Technology Development**, Vinod Kumar, Research Centre for Technology Management, Carleton University, and Sunder Magun, Centre for Trade Policy and Law, University of Ottawa and Carleton University, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 4 **Gender Tracking in University Programs**, Sid Gilbert, University of Guelph, and Alan Pomfret, King's College, University of Western Ontario, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 5 **Competitiveness: Concepts and Measures**, Donald G. McFetridge, Department of Economics, Carleton University, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 6 **Institutional Aspects of R&D Tax Incentives: The SR&ED Tax Credit**, G. Bruce Doern, School of Public Administration, Carleton University, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 7 **Competition Policy as a Dimension of Economic Policy: A Comparative Perspective**, Robert D. Anderson and S. Dev Khosla, Economics and International Affairs Branch, Bureau of Competition Policy, Industry Canada, 1995.

No. 8 **Mechanisms and Practices for the Assessment of the Social and Cultural Implications of Science and Technology**, Liora Salter, Osgoode Hall Law School, University of Toronto, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 9 **Science and Technology: Perspectives for Public Policy**, Donald G. McFetridge, Department of Economics, Carleton University, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 10 **Endogenous Innovation and Growth: Implications for Canada**, Pierre Fortin, Université du Québec à Montréal and Canadian Institute for Advanced Research, and Elhanan Helpman, Tel-Aviv University and Canadian Institute for Advanced Research, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 11 **The University-Industry Relationship in Science and Technology**, Jérôme Doutriaux, University of Ottawa, and Margaret Barker, Meg Barker Consulting, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 12 **Technology and the Economy: A Review of Some Critical Relationships**, Michael Gibbons, University of Sussex, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 13 **Management Skills Development in Canada**, Keith Newton, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1995.

No. 14 **The Human Factor in Firm's Performance: Management Strategies for Productivity and Competitiveness in the Knowledge-Based Economy**, Keith Newton, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1996.

No. 15 **Payroll Taxation and Employment: A Literature Survey**, Joni Baran, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1996.

No. 16 **Sustainable Development: Concepts, Measures, Market and Policy Failures at the Open Economy, Industry and Firm Levels**, Philippe Crabbé, Institute for Research on the Environment and Economy, University of Ottawa, under contract with Industry Canada, 1997.

No. 17 **Measuring Sustainable Development: A Review of Current Practice,** Peter Hardi and Stephan Barg, with Tony Hodge and Laszlo Pinter, International Institute for Sustainable Development, under contract with Industry Canada, 1997.

No. 18 **Reducing Regulatory Barriers to Trade: Lessons for Canada from the European Experience**, Ramesh Chaitoo and Michael Hart, Centre for Trade Policy and Law, Carleton University, under contract with Industry Canada, 1997.

No. 19 **Analysis of International Trade Dispute Settlement Mechanisms and Implications for Canada's Agreement on Internal Trade**, E. Wayne Clendenning and Robert J. Clendenning, E. Wayne Clendenning & Associates Inc., under contract with Industry Canada, 1997.

No. 20 **Aboriginal Businesses: Characteristics and Strategies for Growth**, David Caldwell and Pamela Hunt, Management Consulting Centre, under contract with Aboriginal Business Canada, Industry Canada, 1998.

No. 21 **University Research and the Commercialization of Intellectual Property in Canada,** Wulong Gu and Lori Whewell, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1999.

No. 22 **A Regional Perspective on the Canada-U.S. Standard of Living Comparison,** Raynald Létourneau and Martine Lajoie, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 2000.

No. 23 **Linkages Between Technological Change and Productivity Growth**, Steven Globerman, Western Washington University, under contract with Industry Canada, 2000.

### *CANADA IN THE 21ST CENTURY SERIES*

No. 1 **Global Trends: 1980-2015 and Beyond**, J. Bradford DeLong, University of California, Berkeley, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 2 **Broad Liberalization Based on Fundamentals: A Framework for Canadian Commercial Policy**, Randy Wigle, Wilfrid Laurier University, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 3 **North American Economic Integration: 25 Years Backward and Forward**, Gary C. Hufbauer and Jeffrey J. Schott, Institute for International Economics, Washington (D.C.), under contract with Industry Canada, 1998.

No. 4 **Demographic Trends in Canada, 1996-2006: Implications for the Public and Private Sectors**, David K. Foot, Richard A. Loreto, and Thomas W. McCormack, Madison Avenue Demographics Group, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 5 **Capital Investment Challenges in Canada**, Ronald P.M. Giammarino, University of British Columbia, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 6 **Looking to the 21st Century – Infrastructure Investments for Economic Growth and for the Welfare and Well-Being of Canadians**, Christian DeBresson, Université du Québec à Montréal, and Stéphanie Barker, Université de Montréal, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 7 **The Implications of Technological Change for Human Resource Policy**, Julian R. Betts, University of California, San Diego, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 8 **Economics and the Environment: The Recent Canadian Experience and Prospects for the Future**, Brian R. Copeland, University of British Columbia, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 9 **Individual Responses to Changes in the Canadian Labour Market**, Paul Beaudry and David A. Green, University of British Columbia, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 10 **The Corporate Response – Innovation in the Information Age**, Randall Morck, University of Alberta, and Bernard Yeung, University of Michigan, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 11 **Institutions and Growth: Framework Policy as a Tool of Competitive Advantage for Canada**, Ronald J. Daniels, University of Toronto, under contract with Industry Canada, 1998.

### *PERSPECTIVES ON NORTH AMERICAN FREE TRADE SERIES*

No. 1 **Can Small-Country Manufacturing Survive Trade Liberalization? Evidence from the Canada-U.S. Free Trade Agreement**, Keith Head and John Ries, University of British Columbia, under contract with Industry Canada, 1999.

No. 2 **Modelling Links Between Canadian Trade and Foreign Direct Investment,** Walid Hejazi and A. Edward Safarian, University of Toronto, under contract with Industry Canada, 1999.

No. 3 **Trade Liberalisation and the Migration of Skilled Workers,** Steven Globerman, Western Washington University and Simon Fraser University, under contract with Industry Canada, 1999.

No. 4 **The Changing Industry and Skill Mix of Canada's International Trade**, Peter Dungan and Steve Murphy, Institute for Policy Analysis, University of Toronto, under contract with Industry Canada, 1999.

No. 5 **Effects of the Canada-United States Free Trade Agreement on Interprovincial Trade**, John F. Helliwell, University of British Columbia, Frank C. Lee, Industry Canada, and Hans Messinger, Statistics Canada, 1999.

No. 6 **The Long and Short of the Canada-U.S. Free Trade Agreement,** Daniel Trefler, University of Toronto, under contract with Industry Canada, 1999.

### *JOINT PUBLICATIONS*

**Capital Budgeting in the Public Sector**, in collaboration with the John Deutsch Institute, Jack Mintz and Ross S. Preston eds., 1994.

**Infrastructure and Competitiveness**, in collaboration with the John Deutsch Institute, Jack Mintz and Ross S. Preston eds., 1994.

**Getting the Green Light: Environmental Regulation and Investment in Canada**, in collaboration with the C.D. Howe Institute, Jamie Benidickson, G. Bruce Doern, and Nancy Olewiler, 1994.

To obtain copies of documents published under Industry Canada's Research Publications Program, please contact:

Publications Officer
Micro-Economic Policy Analysis
Industry Canada
5th Floor, West Tower
235 Queen Street
Ottawa, Ontario, K1A 0H5

Tel.: (613) 952-5704
Fax: (613) 991-1261
E-mail: mepa.apme@ic.gc.ca

Programme des publications
de recherche d Industrie Canada

# LIENS ENTRE CHANGEMENT TECHNOLOGIQUE ET CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ

*Document hors série nº 23*
*Mai 2000*

***Programme des publications de recherche d'Industrie Canada***

Le Programme des publications de recherche d'Industrie Canada fournit une tribune pour l'analyse des grands défis microéconomiques auxquels est confrontée l'économie canadienne et favorise un débat public éclairé sur les grandes questions d'actualité. Sous l'égide de la Direction générale de l'analyse de la politique microéconomique, la collection des documents de recherche, qui s'inscrit dans le cadre de ce programme, englobe des documents de travail analytiques révisés par des pairs et des documents de discussion rédigés par des spécialistes traitant de questions microéconomiques d'importance primordiale.

Les opinions exprimées dans ces documents de recherche ne reflètent pas nécessairement celles d'Industrie Canada ou du gouvernement fédéral.

Programme des publications
de recherche d Industrie Canada

# LIENS ENTRE CHANGEMENT TECHNOLOGIQUE ET CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ

*Par Steven Globerman*
*Université Western Washington*

*Document hors série nº 23*
*Mai 2000*

*Also available in English*

**Données de catalogage avant publication (Canada)**

Globerman, Steven

Liens entre changement technologique et croissance de la productivité

(Document hors série; nº 23)
Texte en français et en anglais disposé tête-bêche.
Titre de la p. de t. addit : Linkages between technological change and productivity growth.
Comprend des références bibliographiques.
ISBN 0-662-64787-4
Nº de cat. C21-23/23-2000

1. Innovations Canada.
2. Productivité Canada.
I. Canada. Industrie Canada.
II. Titre.
III. Coll. : Document hors série (Canada. Industrie Canada).
IV. Titre : Linkages between technological change and productivity growth.

HC79.T4G56 2000 338.'064'0971 C00-980118-9F

---

Vous trouverez, à la fin du présent ouvrage, des renseignements sur les documents publiés dans le cadre du Programme des publications de recherche et sur la façon d'en obtenir des exemplaires. Des sommaires des documents et cahiers de recherche publiés dans les diverses collections d'Industrie Canada, ainsi que le texte intégral de notre bulletin trimestriel, *MICRO*, peuvent être consultés sur *STRATEGIS*, le service d'information commerciale en direct du Ministère, à l'adresse http://strategis.ic.gc.ca.

Prière d'adresser tout commentaire à :

Someshwar Rao
Directeur
Analyse des investissements stratégiques
Analyse de la politique micro-économique
Industrie Canada
5e étage, tour Ouest
235, rue Queen
Ottawa (Ontario) K1A 0H5

Tél. : (613) 941-8187; téléc. : (613) 991-1261; courriel : raosomeshwar@ic.gc.ca

***REMERCIEMENTS***

L'auteur voudrait remercier un lecteur-arbitre anonyme pour ses commentaires utiles sur une version antérieure.

## TABLE DES MATIÈRES


1. INTRODUCTION ..... 1

2. CHANGEMENT TECHNOLOGIQUE ET ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ ..... 3
   - Mesures de la productivité ..... 3
   - Changement technologique ..... 6
     - La R-D comme indicateur du changement technologique ..... 7
     - Brevets et autres indicateurs ..... 8
     - Retombées technologiques ..... 9
     - Technologie intégrée au travail et au capital ..... 10
     - Changement technologique exogène et endogène ..... 11

3. ÉTUDES EMPIRIQUES DE LA R-D, DE L'INNOVATION ET DE LA CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ ..... 13
   - Études économétriques ..... 14
     - Données canadiennes ..... 14
     - Autres études ..... 18
     - Études de cas ..... 19

4. FACTEURS DÉTERMINANT LE LIEN ENTRE INNOVATION ET CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ ..... 23
   - Intégration internationale ..... 24
   - Gestion ..... 26
   - Éducation ..... 26
   - Protection de la propriété intellectuelle ..... 27
   - Capital de risque ..... 28

5. PROFILS TEMPORELS DES LIENS ..... 29

6. INFORMATISATION ET CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ ..... 31

7. ACCORDS, DÉSACCORDS ET INCERTITUDES ..... 33

8. PROGRAMME DE RECHERCHE FUTUR ..... 37

NOTES ..... 41

BIBLIOGRAPHIE ..... 45

PUBLICATIONS DE RECHERCHE D'INDUSTRIE CANADA ..... 51

# 1. INTRODUCTION

L'objet de la présente étude est de passer en revue et de synthétiser la documentation pertinente sur les liens entre le changement technologique et l'évolution de la productivité. Bien que théoriquement distinctes, ces deux notions sont souvent liées dans les débats sur les politiques et elles font l'objet d'une gamme étendue de mesures gouvernementales.

Les analyses parues récemment dans la presse populaire ont mis en relief la stagnation de la productivité au Canada par rapport aux États-Unis[1]. Diverses explications ont été proposées, dont une issue d'une préoccupation de longue date au Canada : le faible niveau de la recherche-développement (R-D) dans les entreprises[2]. De fait, un certain nombre d'autres explications, y compris la réglementation gouvernementale et la baisse de la valeur du dollar canadien – qui hausse le coût de l'importation de technologies qui permettraient aux entreprises canadiennes d'améliorer leur productivité – ont aussi un lien avec le changement technologique[3].

Le ralentissement du taux de changement technologique est souvent mentionné comme cause possible du ralentissement de la croissance de la productivité survenu après 1973 dans les pays développés. Bien que les données sur cet aspect (examinées plus loin) ne soient pas concluantes, on a de plus en plus l'impression que les importants progrès technologiques survenus en informatique et dans les télécommunications, dont l'apparition et l'expansion d'Internet en tant que nouveau mode de communication de masse, permettront un regain spectaculaire de la croissance de la productivité et du revenu réel[4].

La propension des responsables des politiques à considérer la promotion des activités technologiques comme un volet important de la stratégie de croissance industrielle n'est certes pas nouvelle, notamment au Canada, où le débat au sujet des causes et des conséquences du changement technologique se poursuit depuis au moins trois décennies[5]. Après avoir mis en place l'un des régimes fiscaux les plus généreux à l'égard de la R-D de tous les pays de l'OCDE, l'incapacité apparente du Canada à engendrer des taux de croissance de la productivité semblables à ceux des autres pays est déconcertante. On peut aussi s'interroger sur la conviction réaffirmée du gouvernement canadien d'offrir une aide financière encore plus importante pour les activités à caractère technologique.

Les liens entre l'activité technologique et l'évolution de la productivité sont complexes et difficiles à mesurer. Ainsi, en dépit de l'abondante documentation publiée sur cette question, il n'y a pas de « vision orthodoxe »

de la nature ou de l'ampleur de ces liens. L'objet du présent rapport est de passer en revue et de synthétiser la documentation pertinente, en faisant ressortir les aspects sur lesquels il serait important d'orienter la recherche future tout en proposant des projets de recherche spécifiques.

Le rapport est structuré de la façon suivante. Le chapitre 2 renferme un exposé succinct des liens théoriques entre la croissance de la productivité et le changement technologique. Les problèmes conceptuels et empiriques liés à la spécification et à l'estimation de ces liens y sont décrits et évalués. Le chapitre 3 résume et synthétise les études empiriques consacrées aux liens entre la R-D, l'innovation et la productivité aux niveaux de l'économie, de l'industrie, de l'entreprise et des groupes d'industries et d'entreprises. Le chapitre 4 est consacré aux facteurs reconnus pour avoir une incidence sur la relation empirique entre le changement technologique et l'évolution de la productivité : niveau de scolarité de la main-d'œuvre, concurrence industrielle, etc. Le chapitre 5 tente de vérifier l'existence d'un profil temporel dans les liens observés entre le changement technologique et l'évolution de la productivité, en faisant ressortir les facteurs qui pourraient expliquer un tel profil. Le chapitre 6 est consacré aux liens entre l'informatisation et les changements technologiques connexes dans les télécommunications, d'une part, et l'évolution de la productivité, d'autre part. La principale question qui nous intéresse ici est de savoir si la « révolution numérique » a déclenché une croissance accélérée de la productivité et, si ce n'est pas le cas, pour quelle raison. Au chapitre 7, nous énumérons les principales lacunes qui persistent dans notre connaissance de la relation entre le changement technologique et l'évolution de la productivité. Enfin, au chapitre 8, nous proposons un certain nombre de projets de recherche qui pourraient contribuer à combler les lacunes décrites dans le chapitre précédent.

## 2. CHANGEMENT TECHNOLOGIQUE ET ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ

La notion de changement technologique est parfois assimilée à celle de changement de productivité, mais les deux notions sont distinctes en dépit de leur interdépendance. Le changement technologique contribue (dans une mesure indéterminée) à l'évolution de la productivité. Pour connaître la contribution du changement technologique à l'évolution de la productivité, il faut toutefois atteindre une certaine précision dans la mesure de celle-ci.

### Mesures de la productivité

Les mesures de la productivité comprennent les indices construits pour différents facteurs de production, par exemple le travail et le capital, et les indices représentant une moyenne pondérée des facteurs de production. Les mesures de la productivité individuelle des divers facteurs de production sont appelées indices de productivité partielle des facteurs. Les mesures de la productivité qui englobent tous les facteurs sont appelées indices de la productivité totale des facteurs. Ainsi, la productivité du travail est un indice construit en divisant une série statistique de la production réelle par une série statistique du travail réel. L'indice le plus commun de la productivité du travail est la production réelle par heure travaillée. De même, la productivité du capital est un indice construit en divisant une série statistique de la production réelle par une série statistique du capital réel. La production par heure travaillée est la mesure de la productivité la plus largement disponible aux fins des comparaisons entre industries et entre pays[6].

La productivité multifactorielle ou productivité totale des facteurs (PTF) correspond au ratio de la production réelle (ou de la valeur ajoutée réelle) à une moyenne pondérée des facteurs, où les coefficients de pondération correspondent à l'importance relative de chaque facteur dans le coût de production. Des indices de PTF sont construits tant pour la production brute que pour la production nette (valeur ajoutée), la production brute englobant les intrants matériels intermédiaires et la production nette excluant ces intrants[7]. Les comparaisons internationales sont le plus souvent basées sur le ratio de la production réelle à une moyenne pondérée des intrants capital et travail.

La croissance temporelle de la mesure calculée de la productivité partielle ou totale des facteurs constitue donc une mesure de la croissance de la productivité. Lorsque l'indice est exprimé sous la forme d'un taux de variation, il représente le taux estimatif de croissance de la productivité. Le tableau 1 renferme des estimations de la croissance de la productivité du travail pour un échantillon d'industries canadiennes. La principale observation

qui en ressort est la baisse relativement marquée du taux de croissance de la productivité après 1973 dans toutes les industries de l'échantillon. De façon générale, la croissance de la productivité a continué de fléchir tout au long des années 80 et 90, mais à un rythme plus lent que durant la période qui a suivi 1973. Cette tendance se retrouve essentiellement dans les autres économies développées. Les explications de l'évolution de la productivité doivent donc concorder avec cette observation frappante et généralisée.

**Tableau 1**
**Productivité du travail**

| Industrie | Taux de croissance annuel | |
|---|---|---|
| | 1963-1973 | 1973-1992 |
| Agriculture, forêt et pêche | 4,96 | 2,85 |
| Mines et carrières | 5,37 | 0,91 |
| Aliments, boissons et tabac | 3,23 | 1,58 |
| Textiles, vêtement et cuir | 4,46 | 2,40 |
| Produits du bois et meubles | 3,29 | 2,51 |
| Papier, produits du papier et impression | 3,10 | 1,22 |
| Produits chimiques | 4,26 | 0,75 |
| Produits minéraux non métalliques | 3,88 | 0,68 |
| Produits métalliques de base | 2,88 | 2,33 |
| Produits métalliques | 3,44 | 0,93 |
| Machines agricoles et industrielles | 3,95 | 3,41 |
| Produits électriques | 4,09 | 3,83 |
| Matériel de transport | 5,95 | 1,99 |
| Autre matériel de fabrication | 4,01 | 0,46 |
| Électricité, gaz et eau | 5,16 | 1,41 |
| Construction | 2,48 | 1,23 |
| Commerce de gros et de détail | 2,17 | 1,29 |
| Restaurants et hôtels | 1,26 | -0,55 |
| Transport et entreposage | 5,47 | 1,89 |
| Communications | 6,03 | 5,69 |
| Finances, assurances, immobilier et services commerciaux | 1,70 | 1,21 |
| Services communautaires et personnels | 1,03 | 0,52 |

La mesure de la productivité du travail correspond à la production brute par heure travaillée.
Source : Gera, Gu et Lee (1998b).

Les causes des changements observés dans la productivité dépendent, en partie, de la façon dont la productivité est mesurée. Ainsi, dans le cas des mesures partielles de la productivité, le taux ou le niveau de croissance de la productivité peut être plus élevé dans un pays (ou une industrie) qu'ailleurs,

parce qu'on y utilise une combinaison différente de facteurs de production ou parce qu'on y utilise plus efficacement un facteur. La mesure de la productivité du travail fournit une bonne illustration de ce cas. La productivité du travail augmente habituellement lorsque du capital est substitué au travail, en raison de la productivité marginale décroissante des intrants variables. La productivité du travail est généralement supérieure dans les économies, les industries et les entreprises ayant un coefficient de capital plus élevé, toutes choses égales par ailleurs. De même, la productivité du travail peut être supérieure dans certaines économies ou organisations parce que le facteur travail y est utilisé plus efficacement, en maintenant constant le facteur capital.

L'utilisation des indices de PTF atténue l'incidence de la substitution des facteurs sur la performance mesurée de la productivité et permet d'isoler plus précisément les conséquences des gains d'efficience « purs ». Néanmoins, les mesures de la productivité tant partielle que multifactorielle soulèvent des complications qui peuvent mener à des conclusions trompeuses ou inadéquates au sujet de l'évolution de la productivité. Les mesures de la productivité devraient, en principe, rendre compte à la fois de la quantité et de la qualité de la production et des intrants; mais l'intégration appropriée des changements qualitatifs dans les séries de données sur la production et les intrants pose un défi particulièrement redoutable[8].

Une autre complication découle de l'émergence de nouvelles formes de production. Si les indices de prix utilisés pour ramener les mesures monétaires de la production et des intrants à leur valeur réelle sont fondés sur un panier de produits non parfaitement représentatif du panier de produits réellement acheté, ces indices de prix et les mesures de la production réelle qui en découlent seront faussés. Cela pourrait vouloir dire que les indices calculés de la productivité sont biaisés.

Des écarts apparaîtront presque à coup sûr entre les coefficients de pondération de la production utilisés dans la construction des indices de prix et les coefficients de pondération réels lorsque les organismes de statistique tels que Statistique Canada et le Bureau of Labor Statistics des États-Unis utilisent un panier de biens donné comme base de pondération de la production pour une certaine période de temps. Une conséquence de cette pratique est que la productivité mesurée ne sera vraisemblablement pas le reflet précis de la productivité « réelle » à un point donné dans le temps. En outre, si les facteurs qui contribuent aux erreurs de mesure varient en importance dans le temps, même l'évolution temporelle de la productivité mesurée peut constituer un indicateur imprécis de la tendance véritable de la productivité[9].

## Changement technologique

Au sens le plus large, le changement technologique peut être vu comme le taux auquel de nouveaux procédés de production et de nouveaux produits sont lancés et adoptés dans l'économie. Le lancement est habituellement identifié à l'étape de l'innovation, tandis que l'adoption est identifiée à l'étape de la diffusion. La plupart des observateurs estiment que toute distinction entre les étapes de l'innovation et de la diffusion est arbitraire, dans la perspective du changement technologique, parce que la diffusion suppose l'adaptation et l'amélioration continues d'une innovation initiale. On peut supposer que le lancement et l'adoption de procédés de production et de produits nouveaux permettent à la société de profiter de niveaux plus élevés de production réelle en maintenant constants les services des intrants traditionnels comme le travail et le capital. Ainsi, le processus devrait engendrer une plus grande productivité. De même, un taux plus élevé de changement technologique devrait se traduire par un taux plus rapide de croissance de la productivité, toutes choses égales par ailleurs. Dans ce contexte, le changement technologique n'est pas nécessairement « gratuit ». En effet, des ressources réelles doivent être consacrées à stimuler le changement technologique. Mais le résultat net attendu demeure une hausse de la production réelle pour une dotation initiale en facteurs de production[10].

L'application de nouveaux procédés de production exige souvent la mise au point et l'adoption de nouveaux produits, c'est-à-dire de nouveaux biens en capital. Bien souvent, il n'y a pas de ligne de démarcation claire entre un nouveau procédé et un nouveau produit. Néanmoins, les économistes ont tendance à considérer que les nouveaux procédés engendrent principalement une baisse des coûts de production traditionnels, tandis que les nouveaux produits se traduisent principalement par un accroissement direct du bien-être des consommateurs parce qu'ils leur offrent de nouveaux attributs ou une plus grande quantité d'attributs « traditionnels » à un prix égal (ou inférieur) à celui des anciens produits[11]. S'il n'en ressort aucune indication qu'une forme de changement technologique est plus souhaitable qu'une autre, les innovations qui visent à réduire les coûts sont souvent plus faciles à déceler que les améliorations « qualitatives » apportées aux produits existants.

Tel qu'indiqué précédemment, le changement technologique entraîne une augmentation de la productivité en accroissant la production réelle (ou, ce qui est équivalent, le revenu réel) que la société peut atteindre avec les ressources productives dont elle dispose. Notons qu'une réduction des sous-produits « indésirables » de l'activité économique, comme la pollution, le crime et la maladie, engendre une hausse significative du revenu réel. Il n'est donc

pas nécessaire que le changement technologique soit associé à une augmentation de la richesse réelle pour qu'il y ait gain de productivité.

Les problèmes conceptuels et pratiques que soulève la mesure du changement technologique sont encore plus redoutables que ceux liés à la mesure du changement de la productivité. De fait, il est difficile de concevoir une mesure unique qui traduirait avec précision la nature complexe et hétérogène du changement technologique. En conséquence, les économistes utilisent diverses mesures approximatives.

### *La R-D comme indicateur du changement technologique*

Les dépenses de recherche-développement (R-D) sont peut-être l'indicateur approximatif du changement technologique le plus utilisé[12]. L'hypothèse sous-jacente est relativement simple : la R-D constitue une condition nécessaire, quoique non suffisante, du changement technologique. Même si cette hypothèse bénéficie d'un large soutien direct et indirect, il est beaucoup moins clair qu'une relation précise et cohérente existe entre la R-D et le changement technologique. À titre d'exemple, on fait parfois valoir que le lien entre la R-D et le changement technologique est plus étroit à certaines périodes de l'histoire qu'à d'autres. Ainsi, on a souvent affirmé que les connaissances scientifiques fondamentales « disponibles » qui peuvent être exploitées grâce à la R-D commerciale étaient plus abondantes à divers moments avant le milieu du 20$^{e}$ siècle, ce qui expliquerait en partie pourquoi le taux de changement technologique (et de changement de la productivité) a ralenti après 1973.

On a aussi soutenu que la nature des activités de R-D détermine le lien entre celles-ci et le changement technologique. À titre d'exemple, même si l'on suppose habituellement que la R-D réalisée dans le secteur privé a une plus grande incidence directe sur la productivité que celle qui se fait dans les laboratoires gouvernementaux ou universitaires, l'impact indirect de la R-D à but non lucratif, notamment la recherche fondamentale, peut être assez important. Plus précisément, la recherche menée par des organismes sans but lucratif peut être complémentaire de la recherche réalisée par des entreprises à but lucratif. Il est possible que tant la « combinaison » que la quantité de R-D effectuée dans une société influent subséquemment sur le taux de changement de la productivité[13]. Les données pertinentes au lien existant entre la composition de la R-D, la productivité et la croissance économique réelle sont examinées dans un chapitre ultérieur.

La mesure du stock de capital de R-D, en tant qu'indicateur du stock de connaissances techniques, se butte à certains des problèmes que soulève la

mesure précise de la croissance de la productivité. Deux difficultés particulières viennent compliquer la mesure du stock de capital de R-D : 1) le choix du taux de dépréciation approprié des dépenses de R-D antérieures[14] et 2) la détermination des coefficients de pondération « exacts » de la R-D réalisée à l'extérieur de l'entreprise (de l'industrie ou du pays), afin de conjuguer cette source possible de connaissances techniques empruntées ou acquises aux dépenses « internes » de R-D[15].

Nonobstant ces problèmes, les mesures de la R-D demeurent les indicateurs les plus utilisés du changement technologique.

### *Brevets et autres indicateurs*

Les données sur les brevets occupent une place de choix parmi les autres mesures approximatives du changement technologique. Tandis que les dépenses de R-D sont des indicateurs basés sur les facteurs, les données sur les brevets semblent être des indicateurs axés sur les produits. Toutes choses égales par ailleurs, les seconds devraient avoir plus de signification que les premiers. Néanmoins, l'utilisation de l'intensité des brevets comme mesure du changement technologique présente un certain nombre de lacunes connues. L'une d'elles est qu'il n'est peut-être pas nécessaire de recourir à un brevet lorsque le secret commercial constitue un moyen efficace de protéger la propriété intellectuelle liée à des activités technologiques. Une autre est qu'un simple décompte des brevets n'est pas nécessairement un bon indicateur de l'importance commerciale de la technologie sous-jacente ou de l'effet de cette technologie sur la productivité, toutes choses égales par ailleurs. Dans certaines circonstances, l'obtention d'un brevet peut être motivée surtout par le désir de hausser les coûts à l'entrée pour d'éventuels rivaux, auquel cas la principale conséquence de l'octroi du brevet est d'engendrer des bénéfices monopolistiques au lieu d'un gain réel de productivité. Ces réserves nous incitent à la prudence au moment de tenter d'établir un rapport entre l'évolution de la productivité et l'activité liée aux brevets afin d'évaluer les liens possibles entre le changement technologique et l'évolution de la productivité[16].

D'autres analyses statistiques ou études de cas portent sur des innovations particulières et lient l'apparition et l'adoption de ces innovations à l'évolution de la productivité dans une industrie[17]. L'accent mis sur certaines innovations et sur leur utilisation permet une évaluation plus poussée de toute la gamme des facteurs contextuels qui, habituellement, façonnent les décisions des gestionnaires entourant l'application d'une nouvelle technologie, ainsi que des conséquences de la mise au point et de l'application d'une technologie nouvelle. Par ailleurs, une telle orientation limite les généralisations possibles à

partir des résultats obtenus. De nombreuses innovations ne peuvent être facilement identifiées ou segmentées aux fins d'une étude spécifique. À titre d'exemple, il est souvent difficile de préciser les changements organisationnels qui peuvent influer sur la productivité; ou encore, certains changements sont liés à d'autres changements en cours, de sorte que l'on tente d'attribuer individuellement des effets à ce qui est, en réalité, un ensemble de facteurs « technologiques » conjoints.

### *Retombées technologiques*

Toute mesure du changement technologique doit partir du constat que le changement technologique extérieur à l'unité d'analyse – une entreprise, une industrie ou un pays – influera sur le lien entre le changement technologique et le changement de productivité au sein de cette unité. De fait, le changement technologique qui se produit à l'extérieur de l'unité peut influer sur les activités technologiques au sein de l'unité en modifiant les produits marginaux et les coûts marginaux pertinents à ces activités.

La notion utile ici est celle de retombées technologiques, que l'on peut interpréter comme étant les éléments de la technologie nouvelle mise au point par certaines organisations que d'autres organisations réussissent à s'approprier sans dédommager (en totalité ou en partie) ses créateurs pour la valeur de la technologie acquise. Une conséquence de cette situation est que les effets de la productivité sur le changement technologique peuvent se faire sentir bien au-delà des organisations qui réalisent l'essentiel de la R-D, des activités liées aux brevets et des autres activités connexes à la technologie en cause. Une conséquence connexe est que le fait que des organisations (ou des groupes d'organisations) mènent relativement peu de R-D ou d'activités liées aux brevets ne signifie pas forcément que le changement technologique n'a aucune importance pour la progression de la productivité dans ces organisations. Cela pourrait vouloir dire que les mesures traditionnelles de l'activité technologique sont de mauvais indicateurs du stock réel de connaissances technologiques auxquelles ces organisations ont accès.

Il y a une abondante documentation consacrée à l'examen du processus des retombées technologiques et des facteurs qui déterminent l'importance de ces retombées. Ces travaux seront brièvement examinés dans un chapitre ultérieur. À ce stade, il est utile de noter que le phénomène des retombées a une importance particulière au Canada. Notamment, le niveau relativement élevé de propriété étrangère a été lié au niveau relativement faible de la R-D dans l'industrie manufacturière canadienne. Ce phénomène a lui-même été lié à la « piètre » performance du Canada au chapitre de

l'innovation industrielle et de la croissance de la productivité par ceux qui estiment qu'il serait dans l'intérêt du Canada d'appliquer des contrôles plus rigoureux à la propriété étrangère. Par ailleurs, les partisans d'un régime de propriété étrangère libéral font valoir que les sociétés sous contrôle étranger sont une importante source d'importation de technologie au Canada et qu'elles comblent ainsi en partie le besoin de mener des travaux de R-D coûteux dans les entreprises canadiennes[18]. L'évaluation de ces positions opposées doit partir de données sur l'importance des rendements de la technologie indigène par rapport à la technologie liée aux « retombées » et sur les effets de la propriété étrangère dans l'un et l'autre cas.

### *Technologie intégrée au travail et au capital*

> L'adoption de nouvelles méthodes de production est si étroitement liée aux investissements en capital qu'un monumental problème d'estimation surgit lorsqu'on tente de mesurer les diverses influences de l'investissement en capital sur la productivité. (Boucher, 1981, p. 94)

Si la nouvelle technologie est incorporée aux intrants travail et capital, cela peut poser un problème d'identification. Plus précisément, il devient difficile d'établir de façon empirique la contribution des facteurs « traditionnels » à la croissance de la productivité, en la distinguant de la contribution des nouvelles connaissances techniques. Certains économistes ont soutenu que la plus grande partie du changement technologique prend la forme d'une amélioration des intrants, en particulier les intrants en capital. Le cas échéant, une augmentation du taux d'utilisation des nouveaux intrants aura une incidence sur la croissance de la productivité et il pourrait être difficile de distinguer les effets de l'utilisation d'intrants améliorés de ceux découlant d'une utilisation accrue des intrants. On peut dire la même chose des situations où le changement technologique s'accompagne d'une augmentation de l'échelle d'exploitation des organisations et des industries. Autrement dit, il peut être difficile de départager en pratique les effets sur la productivité des augmentations d'échelle et d'envergure des organisations économiques des effets découlant de la mise en œuvre et de l'exploitation de nouvelles technologies, pour une échelle et une envergure données.

### *Changement technologique exogène et endogène*

Les complexités que font surgir la modélisation et l'estimation des liens entre la croissance de la productivité et le changement technologique sont aggravées par la présence possible d'une simultanéité directe et indirecte entre les deux processus. À titre d'exemple, un changement technologique non intégré, par exemple la recherche en mathématiques visant à faciliter l'adoption de réseaux de communications numériques à haute vitesse, pourrait éventuellement stimuler l'investissement dans de nouveaux ordinateurs et matériels de communication, lesquels pourraient, à leur tour, faciliter l'adoption de technologies nouvelles dans une vaste gamme d'activités manufacturières et de services. Les gains de productivité découlant des investissements en ordinateurs et en matériels de communication nouveaux traduiraient donc la recherche sous-jacente en mathématiques et les nouveaux investissements en capital. Départager les contributions de chacun de ces éléments à la croissance de la productivité est manifestement une tâche empirique difficile.

## 3. ÉTUDES EMPIRIQUES DE LA R-D, DE L'INNOVATION ET DE LA CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ

> Les inventions et les innovations ont été une importante source d'améliorations technologiques et de gains de productivité. (Fortin et Helpman, 1995, p. 17)

Nonobstant les difficultés largement reconnues que pose l'identification des liens entre le changement technologique et la croissance de la productivité, il existe une abondante documentation empirique sur la question. De fait, les travaux publiés sont si nombreux et ont une portée si vaste qu'on ne peut les résumer de façon exhaustive dans ce rapport. Nous passerons plutôt en revue quelques synthèses détaillées de cette documentation ainsi que des études relativement récentes qui confirment essentiellement ou qui modifient les résultats antérieurs[19].

L'analyse de la contribution du changement technologique à la croissance de la productivité a suivi deux grandes approches. L'une a porté sur l'identification économétrique et non économétrique de la croissance résiduelle de la PTF, une fois recensés tous les facteurs pouvant contribuer à la croissance de la PTF (autres que le changement technologique). Cette approche est associée à des économistes comme Edward Denison et Dale Jorgenson[20]. Si ces études ont tendance à montrer l'importance statistique du résidu « non expliqué » de la productivité (que l'on présume être le changement technologique), son interprétation a donné lieu à beaucoup de controverse. Notamment, il y a eu un débat animé sur la mesure dans laquelle ce résidu traduit des biais dans la mesure du capital matériel « traditionnel » et d'autres intrants et sur la contribution des économies d'échelle propres aux nouvelles techniques de production.

Une seconde approche, plus représentative des travaux de recherche récents visant à démontrer les liens entre le changement technologique et la croissance de la productivité, intègre diverses mesures du changement technologique comme variables explicites dans des modèles de croissance de la productivité. Pour l'essentiel, ces études s'intéressent à la R-D en tant que mesure approximative de la technologie; mais quelques études de cas sont consacrées à des innovations et à leurs effets économiques. Notre examen des écrits pertinents porte surtout sur ce second groupe d'études.

La revue documentaire présentée dans ce chapitre envisage tour à tour les données économétriques et non économétriques. Notre examen se résume essentiellement à l'identification et à la synthèse des résultats publiés sur les aspects suivants : 1) les taux de rendement privé et social de la R-D et

les autres mesures de l'innovation et du changement technologique; 2) les taux de rendement privé et social de différentes formes de R-D et d'innovation, par exemple la recherche fondamentale ou appliquée, la recherche financée par l'État ou par des fonds privés, la recherche entreprise par des organismes à but lucratif ou par des organismes à but non lucratif (notamment les universités); 3) les sources de retombées technologiques, par exemple la R-D étrangère et la R-D intérieure.

Notre examen vise aussi à résumer les constatations issues des travaux consacrés à ces questions au Canada et à identifier et expliquer, si possible, tout écart significatif entre les expériences canadiennes et étrangères.

## Études économétriques

Ces études englobent les analyses statistiques des liens possibles entre les mesures de la production réelle (ou de la productivité) et les facteurs déterminant les changements de production (ou de productivité), y compris les mesures du changement technologique. Le « modèle » habituellement employé dans ces études exprime la croissance réelle (ou les écarts de croissance) de la production en tant que fonction de la croissance réelle (ou des écarts de croissance) des facteurs « traditionnels » comme le capital et le travail, et des intrants non traditionnels tels que les services découlant du capital de R-D. À l'aide d'une fonction de production Cobb-Douglas (ou d'une forme fonctionnelle plus souple), nous pouvons directement estimer les élasticités de la production. Dans des modèles connexes, l'équation de la production réelle est re-spécifiée en une équation de la productivité. La productivité du travail sera ainsi exprimée comme la différence entre le taux de croissance de la production réelle et celui du facteur travail réel. Dans les modèles où la variable dépendante est une mesure de la productivité, les coefficients estimés des variables représentant le « changement technologique » sont les taux de rendement des intrants technologiques tels que la R-D[21]. Le terme constant est interprété comme la mesure du taux de changement technologique « non intégré », c'est-à-dire la croissance de la productivité non liée à la croissance des variables représentant les intrants technologiques explicites.

### *Données canadiennes*

Bernstein (1988) présente des données économétriques sur les taux de rendement privé et social de la R-D au Canada dans une série d'industries. L'importance relative et absolue des retombées ressort du fait que le taux de rendement social de l'investissement en R-D est sensiblement plus élevé que

le taux de rendement privé. De fait, les retombées entre industries sont plutôt modestes dans l'ensemble de l'échantillon. Par contre, les retombées intra-industries sont assez importantes, surtout dans les industries qui ont une propension relativement élevée à faire des dépenses de R-D[22].

Voici les ordres de grandeur : le taux de rendement social du capital de R-D (après dépréciation) dans les industries ayant une propension plus élevée à faire des dépenses de R-D est un peu plus du double du taux de rendement privé net, évalué à 11,5 p. 100. Le taux de rendement social du capital de R-D dans les autres industries est un peu moins du double du taux de rendement privé net.

Bernstein présente certaines données sur le lien entre les retombées de la R-D et la performance en matière de R-D dans son échantillon. Ces données montrent notamment que les retombées entre industries servent de substitut au capital de R-D de l'entreprise dans toutes les industries de l'échantillon. L'effet est assez marqué, surtout dans les industries ayant une propension relativement faible à investir en capital de R-D. L'effet des retombées intra-industries sur la R-D « interne » est plus modeste, en valeur absolue, que l'effet des retombées inter-industries. Dans les industries ayant une propension relativement faible à faire de la R-D, les retombées de la R-D ont un effet négatif sur la R-D interne. Dans les industries ayant une propension relativement élevée à faire de la R-D, il y a une relation complémentaire entre les retombées intra-industries et la R-D interne.

Bernstein ne précise pas les canaux par lesquels ces retombées se propagent et il indique qu'il pourrait s'agir d'un sujet de recherche important pour l'avenir. Il est peut-être révélateur que dans les cinq industries où il y a un écart significatif entre la réaction des entreprises canadiennes et celle des entreprises sous contrôle étranger aux retombées intra-industries, les coûts unitaires des entreprises sous contrôle étranger diminuent proportionnellement plus que ceux des entreprises sous contrôle canadien. Ce résultat laisse penser que l'investissement étranger direct pourrait être un canal particulièrement important de diffusion des retombées technologiques intra-industries.

Dans une étude connexe, Bernstein (1989) a retracé les retombées de la R-D d'une industrie canadienne à l'autre. Son étude porte sur neuf industries manufacturières au cours de la période 1963-1983. L'auteur observe une variation importante entre les pays récepteurs quant au nombre d'industries engendrant des retombées. De même, les élasticités des retombées diffèrent sensiblement d'un pays récepteur à l'autre. Les neuf industries montraient un

taux de rendement privé de la R-D systématiquement élevé. Ce dernier résultat n'est toutefois pas corroboré par d'autres études canadiennes. Mais l'observation faite par Bernstein de taux de rendement sociaux sensiblement plus élevés que les taux de rendement privés concorde avec les résultats d'autres études. Les industries qui ont une propension à la R-D relativement élevée n'affichent pas nécessairement un taux de rendement plus élevé sur le capital de R-D. De même, ces industries ne sont pas systématiquement les principales sources de retombées de la R-D.

Dans une étude plus récente, Bernstein (1996) s'intéresse aux retombées technologiques des activités de R-D dans l'industrie du matériel de communications. Il observe des retombées importantes en provenance de cette industrie dans l'ensemble du secteur manufacturier canadien. En termes relatifs, toutefois, les retombées de la R-D du secteur manufacturier américain ont un impact plus important sur les intensités factorielles dans le secteur manufacturier canadien que les retombées provenant de l'industrie canadienne du matériel de communications. De même, le secteur manufacturier canadien et l'industrie américaine des produits électriques ont des retombées dans l'industrie canadienne du matériel de communications. Le capital de R-D de l'industrie américaine des produits électriques a un effet plus important sur la structure de production de l'industrie canadienne du matériel de communications que le capital de R-D du secteur manufacturier canadien.

L'étude de Bernstein consacrée à l'industrie canadienne du matériel de communications fait ressortir l'importance des retombées internationales de la technologie pour l'industrie canadienne. Plus précisément, l'auteur constate que les retombées du secteur manufacturier américain ont été à l'origine de près des trois quarts du taux de croissance annuel moyen de la productivité dans l'ensemble du secteur manufacturier canadien. Les importantes retombées provenant de l'industrie canadienne du matériel de communications ressortent des différences observées entre les taux de rendement privé et social de la R-D dans cette industrie. Ainsi, le taux de rendement social du capital de R-D de l'industrie canadienne du matériel de communications est estimé à 55 p. 100, ce qui est 225 p. 100 plus élevé que le taux de rendement privé. Par contre, le taux de rendement social du capital de R-D du secteur manufacturier canadien est estimé à 21 p. 100, soit 24 p. 100 de plus que le taux de rendement privé. Le taux de rendement privé négatif que semble avoir le capital de R-D du secteur manufacturier concorde avec les résultats de diverses études où l'on n'a pu déceler un effet de productivité intra-industrie associé aux dépenses privées de R-D dans les industries manufacturières canadiennes. Ce dernier résultat demeure une énigme que l'on n'a pas encore réussi à expliquer de façon satisfaisante.

Mohnen (1992) examine un certain nombre d'études canadiennes et non canadiennes consacrées au rendement de la R-D et présente certaines données économétriques originales. L'auteur signale que les données sur le Canada sont contradictoires. Plus précisément, certaines études offrent peu d'appui à l'hypothèse d'un lien étroit entre la R-D et la croissance de la PTF; mais d'autres études ont permis de produire des estimations qui concordent avec les résultats obtenus pour d'autres pays. Les résultats économétriques de l'auteur indiquent un faible lien entre la R-D canadienne et la croissance de la PTF dans l'industrie canadienne[23]. De fait, dans certaines spécifications du modèle, l'auteur n'a observé aucune relation statistiquement significative. Il en conclut que la question doit être réexaminée avec de nouvelles données et de nouveaux modèles. En particulier, une analyse plus désagrégée pourrait dégager un tableau plus clair des raisons pour lesquelles l'incidence de la R-D effectuée au Canada diffère de celle de la R-D réalisée à l'étranger.

Pour ce qui est des autres caractéristiques de la R-D, Mohnen a tendance à confirmer l'« interprétation classique ». Notamment, les taux de rendement sociaux de la R-D sont sensiblement plus élevés que les taux de rendement privés, tandis que les rendements sont plus élevés sur la R-D financée par l'entreprise que sur la R-D financée par des fonds publics. Ce dernier résultat fait ressortir la contribution indirecte de la R-D financée par des fonds publics, c'est-à-dire son rôle complémentaire par rapport à la R-D financée par des fonds privés.

Ces résultats, qui montrent des taux de rendement privés relativement faibles sur les dépenses de R-D des entreprises manufacturières canadiennes, semblent contredire les arguments fréquemment invoqués en faveur d'un accroissement de l'aide gouvernementale à la R-D du secteur privé. De fait, ils pourraient indiquer que le régime relativement généreux du Canada à l'égard de la R-D du secteur privé ne fait qu'encourager un grand nombre d'activités innovatrices marginalement profitables. Ils pourraient par ailleurs signifier que le Canada n'offre pas un contexte favorable à l'exploitation de « percées » scientifiques industrielles et que les percées qui surviennent sont exploitées par les entreprises utilisatrices de façons qui ne contribuent pas directement à améliorer la productivité des établissements manufacturiers canadiens. À titre d'exemple, de nouvelles connaissances industrielles pourraient être utilisées principalement par des filiales étrangères de multinationales canadiennes[24]. En raison du manque de données sur cette question, on ne peut que spéculer sur la plausibilité tant des résultats publiés sur les rendements privés de la R-D industrielle au Canada que sur les raisons avancées pour les expliquer.

### *Autres études*

Griliches (1998) résume les résultats d'études économétriques fouillées des taux de rendement de la R-D financée par des fonds privés et des fonds publics aux États-Unis. Ces rendements se situent généralement entre 18 et 20 p. 100. L'auteur précise qu'il n'y a pas d'écart entre l'incidence des dépenses de R-D fédérales et celle des dépenses des entreprises privées sur le niveau et le taux de croissance de la productivité totale des facteurs à l'échelle de l'entreprise, bien que des écarts ressortent à l'échelle de l'industrie. On pourrait penser que ce dernier résultat traduit les taux différentiels de financement gouvernemental de la R-D dans diverses industries. Si le financement de l'État est concentré dans des secteurs où le financement privé est, par ailleurs, « excessivement faible » sous l'angle de l'efficience sociale – peut-être parce qu'il est très difficile de s'approprier les rendements de la R-D dans ces secteurs – on devrait s'attendre à observer des différences entre les rendements de la R-D financée par des fonds privés et ceux de la R-D financée par des fonds publics. Les études révèlent presque unanimement des rendements élevés et significatifs sur la R-D interne[25]. Elles montrent aussi des retombées importantes en provenance de la R-D extérieure à l'entreprise[26].

La difficulté d'identifier les rendements sur la R-D interne et sur la R-D exécutée à l'extérieur de l'organisation vient du fait que la première peut permettre à l'organisation de mieux exploiter les retombées de la R-D auxquelles elle a accès. Les études tendent à montrer que l'interaction entre le stock de R-D d'une entreprise et les retombées de la R-D étrangère est généralement positive et significative[27]. Ce résultat concorde avec ceux montrant que les retombées de la technologie étrangère sont complémentaires de la R-D interne d'une entreprise. Cette complémentarité a été signalée plus tôt dans les études canadiennes citées en référence. Ce qui est moins clair dans les travaux publiés jusqu'à maintenant est la façon dont la nature de la R-D interne influe sur la capacité d'une organisation d'exploiter les retombées technologiques. À titre d'exemple, la recherche appliquée est-elle plus complémentaire des retombées technologiques que les dépenses consacrées à la mise au point de procédés et de produits nouveaux? La question semble notamment pertinente pour le Canada vu l'apport important des retombées de la technologie étrangère à la croissance de la productivité au Canada.

Les données disponibles semblent indiquer que les rendements sur la R-D varient selon la nature des travaux de R-D entrepris. Dans l'ensemble, le taux de rendement sur la recherche fondamentale est plus élevé que le taux de rendement sur les dépenses de R-D (Griliches, 1998).

## *Études de cas*

Les études de cas consacrées à des innovations constituent une autre façon d'aborder l'examen des rendements sociaux et privés de l'innovation. On peut opposer à ces études la critique familière suivante : leurs conclusions ne peuvent être généralisées à tous les cas. Mais elles ont tendance à confirmer les résultats des études économétriques. Conjuguées à des études économétriques, les études de cas peuvent donc produire un tableau relativement cohérent des répercussions des activités innovatrices.

Mansfield (1996) résume un certain nombre d'études de cas importantes consacrées à des innovations industrielles, dont certaines qu'il a lui-même réalisées. Ces innovations sont survenues principalement dans des industries manufacturières, bien que la gamme des activités manufacturières visées soit assez étendue. Plusieurs des innovations étudiées avaient une importance « moyenne », une précaution prise par l'auteur pour éviter le risque manifeste de trop concentrer l'attention sur des innovations particulièrement réussies. Si les taux de rendement sociaux varient d'une innovation à l'autre, ils sont généralement assez élevés, soit entre 30 et 50 p. 100, et même parfois plus. De façon générale, ces taux de rendement sociaux estimatifs sont sensiblement supérieurs aux taux de rendement privés correspondants et l'écart est particulièrement marqué dans le cas des innovations majeures.

Baily et Chakrabarti (1988) ont étudié de façon assez détaillée quatre industries (produits chimiques, machines-outils, électricité et textiles). En se basant sur des études de cas, ils affirment que l'évolution de la technologie a été un élément vital de l'évolution de la productivité dans ces industries.

Griliches (1998) résume plusieurs autres études de cas consacrées notamment aux activités innovatrices qui bénéficient d'un soutien gouvernemental. Ces études confirment aussi les taux de rendement très élevés sur l'innovation. À titre d'exemple, le taux de rendement des dépenses de R-D de la NASA est d'environ 40 p. 100 par année à perpétuité, ce qui est plus du double du taux de rendement de toutes les autres formes de R-D entreprises aux États-Unis. Toutefois, Griliches formule quelques critiques méthodologiques sévères à l'endroit de ces études.

Les recherches actuelles mènent habituellement à la conclusion que la R-D financée par des fonds publics offre un taux de rendement inférieur à la R-D financée par des fonds privés. Cela traduit entre autres la nature « non commerciale » d'une bonne partie de la R-D financée et entreprise par les gouvernements. Mais, tout compte fait, la R-D financée par l'État engendre des

retombées dont profitent les projets de R-D du secteur privé. Plus précisément, elle réduit le coût que doivent assumer les industries et, ainsi, améliore leurs perspectives de croissance de la productivité. Il semblerait par ailleurs que la R-D financée par des fonds publics « déplace » une partie de la R-D financée par les entreprises dans beaucoup d'industries (Mamuneas et Nadiri, 1996).

Les données sur les brevets appuient indirectement la conclusion selon laquelle les activités technologiques qui se déroulent dans les laboratoires gouvernementaux et universitaires procurent des avantages scientifiques importants. À titre d'exemple, Henderson, Jaffe et Trajtenberg (1998) ont examiné une vaste base de données regroupant tous les brevets accordés aux États-Unis à des universités ou à des établissements semblables entre 1965 et le milieu de 1992. Les auteurs montrent que, pour l'ensemble de cette période, les brevets universitaires ont été plus importants et de portée plus générale que la moyenne, mais que l'écart observé a diminué progressivement. Leur mesure de l'importance est le nombre de « citations reçues ». Étant donné les priorités de financement de l'État, il n'est pas étonnant que les brevets universitaires soient concentrés dans le secteur des produits pharmaceutiques et celui des technologies médicales.

Bien sûr, l'importance scientifique ne correspond pas toujours à l'importance « commerciale ». Dans le secteur des soins de santé notamment, une vive controverse entoure la question de savoir si l'innovation technologique a permis d'améliorer globalement l'efficience ou si ses coûts dépasse ses avantages. L'élément critique ici est que les hôpitaux rivalisent entre eux notamment en investissant dans les technologies nouvelles. Étant donné que le rendement privé de l'investissement dans les nouvelles méthodes de diagnostic et de traitement englobe les recettes nettes enlevées aux autres hôpitaux, le taux de rendement social moyen de l'adoption d'une nouvelle technologie hospitalière pourrait être inférieur au taux de rendement privé moyen attendu. Il est difficile de résoudre cette question controversée sur le plan empirique. Les études de cas dans ce domaine font ressortir la difficulté de quantifier les avantages nets d'une technologie nouvelle et, partant, des activités technologiques financées par des fonds publics.

La démarche peut-être la plus minutieuse en vue de quantifier les avantages nets d'une nouvelle technologie dans le domaine des soins de santé est celle de Baily et Garber (1997), qui comparent la productivité relative des systèmes de soins de santé aux États-Unis, en Grande-Bretagne et en Allemagne dans le traitement d'un ensemble de maladies, dont le diabète, le cancer du sein, le cancer du poumon et les calculs biliaires. Aux fins de leur comparaison, les auteurs tentent d'intégrer à leurs estimations de la productivité

des données sur la morbidité et la mortalité parmi les patients traités. Aux fins qui nous concernent, le principal résultat de l'étude est que l'adoption d'une technologie est un facteur important qui influe sur la productivité. Plus précisément, l'adoption plus rapide de nouvelles techniques comme la tomodensitométrie contribue généralement à améliorer la productivité.

Les critiques de l'étude de Baily et Garber soulignent l'importance capitale et la nature controversée des hypothèses que font les auteurs au sujet de la morbidité. En effet, des problèmes de mesure de la production font planer un certain doute sur la fiabilité de leurs conclusions[28]. Dans une veine similaire, la mesure biaisée de la production « rajustée pour tenir compte de la qualité » dans l'industrie des produits pharmaceutiques rend hautement incertaines les estimations des avantages nets des nouveaux médicaments[29].

Le secteur des soins de santé a une importance primordiale dans le contexte de la politique technologique. Premièrement, c'est un secteur de taille relativement importante dans les économies développées et la croissance de la productivité dans ce secteur est extrêmement importante pour parvenir à contrôler la croissance des dépenses sans sacrifier l'accessibilité et la qualité des services. Ensuite, ce secteur se distingue par un niveau élevé d'activités innovatrices dans les pays développés, notamment celles financées par les fonds gouvernementaux. Le sérieux manque de connaissances au sujet des avantages sociaux nets de ces activités constitue donc une lacune profonde et inquiétante dans notre compréhension du processus de changement technologique et des facteurs qui le conditionnent. Cette critique pourrait être particulièrement pertinente pour le Canada. Même si le Canada dépense, en termes absolus et relatifs, moins que les États-Unis pour promouvoir la technologie des soins de santé, on a supposé jusqu'à maintenant que le Canada profitait des retombées technologiques dans ce secteur comme c'est le cas dans le secteur manufacturier. Mais les études précédemment citées sur les retombées de la technologie dans l'industrie canadienne nous en disent peu sur la possibilité que le phénomène des retombées rejoigne les activités du « secteur public » comme les soins de santé. Ainsi, on peut penser que les fournisseurs de soins de santé au Canada, sous l'influence des décideurs gouvernementaux, manifestent une certaine lenteur à adopter les technologies nouvelles mises au point à l'étranger.

## 4. FACTEURS DÉTERMINANT LE LIEN ENTRE INNOVATION ET CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ

Dans ce chapitre, nous examinons et synthétisons les données sur les facteurs qui renforcent ou entravent la contribution du changement technologique à la croissance de la productivité. De fait, nous nous intéressons aux facteurs qui resserrent les liens entre le changement technologique et l'évolution de la productivité. Ces facteurs peuvent intervenir à au moins deux niveaux : 1) favoriser un taux plus rapide de changement technologique en accélérant et/ou en étendant l'adoption et la diffusion de nouvelles « pratiques d'excellence »; 2) faciliter une commercialisation et une application plus efficaces de ces nouvelles pratiques.

Les facteurs jugés pertinents à cet égard sont notamment : 1) la scolarité et le niveau des compétences de la main-d'œuvre; 2) l'intensité de la concurrence dans les industries nationales; 3) l'ouverture de l'économie intérieure au commerce international et à l'investissement étranger direct; 4) la rigueur et la nature de la protection de la propriété intellectuelle; 5) l'« infrastructure » sociale; et 6) les politiques gouvernementales de divers types[30].

Les liens entre les établissements de recherche publics et privés et ceux qui existent entre les organisations vouées à l'innovation ont été étudiés dans le contexte de ce que l'on a appelé les « systèmes d'innovation ». Le tableau 2 fait voir un ensemble de liens qui pourraient être pertinents à cet égard. De fait, la notion de système d'innovation national ou international permet de codifier les principales sources de retombées de l'innovation entre les organismes du secteur public et du secteur privé. Même s'il existe des preuves de l'existence de la plupart des liens énumérés au tableau 2, la plus grande partie des données statistiques fiables a trait aux liens internationaux.

**Tableau 2**
**Facteurs à la base d'un système national d'innovation**

| |
|---|
| Liens avec des établissements de recherche étrangers |
| Tradition nationale de formation scientifique |
| Financement national de la recherche fondamentale |
| Orientation commerciale des établissements de recherche |
| Mobilité de la main-d'œuvre |
| Marché du capital de risque |
| Rôle du gouvernement dans la diffusion de la technologie |
| Collaboration avec les établissements de recherche |
| Coopération entre les entreprises en matière de R-D |
| Utilisation de la technologie étrangère |

Source : Bartholomew, 1997, p. 247.

## Intégration internationale

Les données disponibles ont tendance à appuyer sans équivoque l'argument selon lequel le commerce international et l'investissement étranger direct sont des canaux importants de diffusion des nouvelles technologies dans le monde, et celui voulant que les pays de plus petite taille, comme le Canada, bénéficient de façon disproportionnée des flux internationaux de technologie. On s'entend moins sur l'importance relative des autres modes d'échanges internationaux en ce qui a trait aux liens entre le changement technologique et la croissance de la productivité dans un pays.

Parmi les canaux possibles de transmission internationale des connaissances techniques, il y a : 1) les importations de biens en capital et d'intrants intermédiaires; 2) l'investissement étranger direct; 3) les coentreprises et les alliances stratégiques; 4) les licences technologiques; et 5) la migration de la main-d'œuvre qualifiée. Certaines études ont tenté d'évaluer la robustesse de ces divers canaux de transfert international de technologie, mais la plupart n'abordent pas la question de façon exhaustive.

Gollop et Roberts (1981) ont fait une contribution relativement précoce à ce courant de la documentation avec une étude portant sur une vingtaine d'industries manufacturières américaines. Les auteurs concluent que les intrants intermédiaires acquis à l'étranger ont des effets directs et indirects importants sur la croissance de la productivité sectorielle de leur échantillon. Gera, Gu et Lee (1998b) confirment cette conclusion générale pour les produits importés de technologie de l'information (TI). Ils arrivent notamment à la conclusion que les retombées internationales de la R-D dans le secteur de la TI ont joué un rôle de premier plan au Canada durant la période 1971-1993. Les auteurs ont estimé le taux de rendement de la R-D intégrée aux importations de TI à environ 37 p. 100 par année sur l'ensemble de la période, tandis que le taux de rendement de la R-D intégrée aux importations hors du secteur de la TI n'est que d'environ 9 p. 100 par année. Ils constatent aussi que les retombées internationales de la R-D ont une importance négligeable pour les États-Unis; toutefois, lorsqu'ils font la distinction entre les importations de R-D liée à la TI et les autres importations, ils observent un effet important et significatif des retombées de la R-D internationale intégrée aux importations de TI sur la croissance de la productivité.

À l'opposé, Mohnen (1992) s'intéresse au rôle des retombées de la R-D étrangère dans le secteur manufacturier canadien. Les résultats qu'il obtient ne permettent pas de conclure à une incidence aussi marquée de la R-D étrangère que celle que l'on aurait pu prévoir. De fait, entre 1965 et 1983,

l'auteur estime que la R-D étrangère n'a contribué que dans une proportion modeste de 2,5 p. 100 à la croissance de la productivité totale des facteurs dans les industries manufacturières canadiennes. Mais cette contribution a été proportionnellement plus importante que celle provenant de la R-D intérieure.

Globerman, Kokko et Sjoholm (à paraître) présentent des données supplémentaires sur la nature des canaux internationaux par lesquels passent les retombées de la technologie, dans une étude des citations de brevets dans les entreprises suédoises. Les auteurs y examinent les citations de brevets de multinationales et d'entreprises de petite et moyenne taille (PME) suédoises pour voir si les sources des brevets cités diffèrent d'un échantillon à l'autre. Leurs résultats montrent que les entreprises suédoises font plus souvent référence aux brevets des pays qui possèdent un stock important de brevets ou qui sont situés à proximité de la Suède. Les contacts commerciaux et l'IED sortant semblent aussi faciliter la diffusion de la technologie. Mais il semble y avoir certaines différences entre les multinationales et les PME pour ce qui est de l'importance des divers canaux de transfert de technologie. Notamment, les contacts commerciaux semblent avoir plus d'importance pour les PME que pour les multinationales. Une explication possible de ce phénomène est que les multinationales ont accès à de l'information grâce à leur réseau de filiales étrangères, tandis que les PME doivent compter davantage sur des sources « indépendantes » d'information technologique, y compris leurs partenaires commerciaux à l'étranger[31].

Des études consacrées à diverses industries viennent confirmer la notion selon laquelle l'importance de certains canaux internationaux de transfert de technologie dépend du contexte. À titre d'exemple, les alliances de coopération internationale représentent un moyen particulièrement important d'améliorer la capacité innovatrice des entreprises du secteur de la biotechnologie (Bartholomew, 1997). Reste à savoir si cela demeurera vrai à mesure que les grandes sociétés multinationales deviendront les principaux fournisseurs de produits de biotechnologie.

Les résultats qui précèdent laissent entrevoir une piste de recherche prometteuse pour le Canada. Bien que les travaux résumés précédemment semblent signaler la présence de retombées internationales au Canada, nous n'avons trouvé aucune étude qui ait tenté de voir si des entreprises de tailles différentes, ayant des degrés divers de participation au marché international, mettent l'accent sur différents canaux de transfert international de technologie. En particulier, même s'il existe une abondante documentation sur la nature des mécanismes de transfert de technologie dans les multinationales au Canada,

les façons dont les petites et moyennes entreprises assimilent et utilisent la nouvelle technologie étrangère n'ont pas été étudiées de façon approfondie.

## Gestion

Intuitivement, nous sommes portés à penser que la « qualité » de la gestion influe sur la création et l'utilisation de la technologie. En principe, des gestionnaires « efficaces » devraient exploiter la technologie disponible de manière à renforcer la croissance de la productivité dans leur organisation. Bien que certaines études de cas consacrées à des industries particulières (Baily et Chakrabarti, 1988) appuient largement cette notion intuitive, aucun consensus n'émerge quant aux caractéristiques d'une « bonne gestion technologique ». Ainsi, Globerman (1975) n'a trouvé aucune preuve indiquant systématiquement que la formation des gestionnaires est un facteur déterminant de l'adoption de nouvelles technologies dans l'industrie de l'usinage au Canada. Cependant, les gestionnaires qui possèdent une plus grande scolarité semblent plus disposés à adopter les nouvelles technologies informatiques dans de nombreuses industries de services (Globerman, 1984).

Dans d'autres cas, l'influence de la gestion se manifeste indirectement. La structure organisationnelle peut influer sur l'empressement et la capacité des entreprises d'adopter et d'exploiter des technologies nouvelles. Les gestionnaires peuvent eux-mêmes influer sur la structure organisationnelle. Une étude intéressante à cet égard est celle d'Adams et Jaffe (1996), qui montre que les effets favorables de la R-D de l'entreprise mère sur la productivité diminuent avec la distance séparant les établissements de production et les laboratoires de recherche et avec la « distance technologique » entre les produits sur lesquels se concentrent les établissements de R-D de l'entreprise et ceux que fabriquent ses usines. Une autre étude intéressante au niveau de l'établissement arrive à la conclusion que les usines dont les activités de fabrication et de montage sont intégrées semblent utiliser plus efficacement la technologie que les usines spécialisées uniquement dans la fabrication ou le montage (Beede et Young, 1998).

## Éducation

On a aussi tendance à penser que les universités et les collèges techniques peuvent renforcer les effets bénéfiques des nouvelles technologies sur la productivité en encourageant notamment la diffusion en milieu industriel des résultats obtenus « en laboratoire ». En principe, les établissements de recherche gouvernementaux pourraient jouer le même rôle, bien que l'absence de fonction d'enseignement les prive de l'un des modes de commercialisation

les plus rapides de la technologie nouvelle, soit la migration des étudiants vers l'industrie pour y assumer des fonctions de recherche et d'administration.

Bartholomew (1997) fait valoir que le contexte « universitaire » est un élément clé de la performance d'un pays dans l'industrie de la biotechnologie. En particulier, des liens plus étroits entre le milieu de la recherche universitaire et l'industrie, qui peuvent prendre la forme d'une plus forte présence des universitaires dans l'industrie à titre de consultants et d'un plus grand effort de financement de la recherche universitaire par l'industrie, favorisent l'accumulation et la diffusion des connaissances techniques. Mais l'importance de ces liens peut varier d'un pays à l'autre. Ainsi, les « petits » pays comme le Canada peuvent être en mesure de profiter des activités de recherche des universités étrangères. Dans certaines activités industrielles, toutefois, les caractéristiques des industries canadiennes peuvent être suffisamment distinctes pour que les travaux de recherche fondamentale et appliquée qui se déroulent dans des établissements de recherche étrangers soient, dans une large mesure, inapplicables au Canada[32].

Engelbrecht (1997), entre autres, montre que le capital humain est un véhicule de transfert international des connaissances que l'on peut associer au rattrapage observé dans les pays de l'OCDE sur le plan de la productivité. Autrement dit, le capital humain en général permet aux organisations d'être mieux équipées pour exploiter les retombées potentielles de la technologie provenant de l'étranger[33]. Simultanément, l'expertise scientifique accumulée dans les établissements de production peut favoriser une diffusion plus rapide et plus efficace de la technologie entre les installations de recherche d'une entreprise et ses installations de production.

## Protection de la propriété intellectuelle

Il existe une documentation assez abondante consacrée à l'évaluation du degré de protection de la propriété intellectuelle appliquée à la production et à l'utilisation de technologies nouvelles. Pour l'essentiel, les résultats qui ressortent de ces travaux semblent indiquer que la protection officielle de la propriété intellectuelle est importante uniquement dans quelques industries, plus particulièrement celles des produits pharmaceutiques et des produits chimiques industriels[34]. Pour un petit pays comme le Canada, une protection plus rigoureuse de la propriété intellectuelle ne semble pas représenter une stratégie très prometteuse pour resserrer les liens entre le changement technologique et la croissance de la productivité dans la plupart des industries.

## Capital de risque

Une autre idée reçue est que les sociétés entrepreneuriales doivent avoir accès à du capital de risque pour commercialiser une technologie nouvelle et, éventuellement, faire en sorte que cette technologie soit utilisée pour hausser la productivité. Les données disponibles ne nous offrent aucune raison de rejeter cette hypothèse. Mais les travaux publiés n'indiquent pas clairement si les marchés du capital de risque sont géographiquement segmentés et, le cas échéant, quelles seraient les raisons d'une telle segmentation. Par ailleurs, on ne peut présumer que la concentration des sources de capital de risque et des activités de haute technologie signifie que les politiques publiques visant à soutenir les premières favorisent du même coup les secondes. Autrement dit, les sources de capital de risque peuvent « suivre » l'apparition de « centres d'excellence » technologiques plutôt que de faire une contribution importante à leur création.

## 5. PROFILS TEMPORELS DES LIENS

Dans ce chapitre, nous examinons, à l'aide des données disponibles, l'hypothèse selon laquelle la relation entre le changement technologique et la croissance de la productivité s'est radicalement modifiée durant la période d'après-guerre. Une interprétation possible est que le rendement de l'effort scientifique et technologique, sur le plan de la productivité, a diminué durant les années 70 et les années 80 parce que les grandes « percées » scientifiques des périodes antérieures avaient déjà été largement exploitées sur le plan commercial au début et vers le milieu des années 70. Une autre possibilité est que l'apparition des nouvelles technologies de l'informatique et des communications et les développements connexes comme l'Internet et le World Wide Web ont accru de façon spectaculaire le rendement des investissements dans les activités technologiques sur le plan de la productivité. Enfin, une autre explication est que les progrès du commerce international et de l'investissement et l'augmentation de la scolarité et du niveau de compétence des travailleurs ont accru les retombées nationales et internationales de la technologie, haussant le taux de rendement social de la R-D et de l'innovation mais réduisant leur taux de rendement privé.

Notant que la productivité manufacturière et agricole aux États-Unis ne montre aucune tendance séculaire à la baisse, Griliches (1988) affirme qu'il n'y a pas eu de fléchissement de la productivité de la R-D en longue période. Il affirme que le lien entre la R-D et la croissance de la productivité est probablement plus stable et plus facilement identifiable dans ces deux secteurs de l'économie que dans les autres. Par conséquent, si la productivité de la R-D diminuait, cela devrait ressortir le plus clairement d'une baisse de la productivité dans les secteurs manufacturier et agricole.

Mohnen (1992) présente une revue exhaustive des travaux publiés sur le lien entre la croissance de la productivité et la R-D. Les études examinées sont principalement de nature économétrique. À partir des données obtenues, l'auteur rejette la notion selon laquelle la productivité liée à la R-D interne a diminué avec le temps, mais il juge que les données sur la question d'une baisse possible de la productivité de la R-D « importée » sont plus incertaines.

Comme l'ont noté Fortin et Helpman (1995), les baisses de productivité du travail après 1973 ne semblent pas liées à une diminution du ratio capital-travail, à tout le moins au Canada. Cela incite à penser que le changement technologique pourrait être le facteur en cause. La diminution de l'intensité de la R-D dans de nombreux pays développés durant les années 70 semble concorder avec le déclin subséquent de la productivité, bien que ce

fléchissement ne semble pas suffisamment important pour être l'une des causes premières du ralentissement de la croissance de la productivité observé après 1973. L'opinion plus répandue est que des événements « exogènes » tels que la crise de l'énergie, l'accroissement de la réglementation gouvernementale et l'accent mis sur des objectifs « non commerciaux » comme l'assainissement de l'environnement seraient des facteurs explicatifs plus importants.

## 6. INFORMATISATION ET CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ

> La technologie de l'information au sens large, qui englobe l'ordinateur, les logiciels et les communications, est la technologie la plus importante à l'heure actuelle. (Bresnahan et Greenstein, 1996, p. 2)

Un certain nombre d'études traitent explicitement de l'incidence de l'informatisation sur la croissance de la productivité et des facteurs qui déterminent cette incidence. Siegel (1997) résume et évalue quelques études pertinentes. Le point qui ressort de son examen est que les études antérieures ne sont peut-être pas fiables parce que la mesure des prix et de l'utilisation des ordinateurs y est faussée et parce qu'elles ne reconnaissent pas explicitement que l'informatisation amène habituellement une amélioration de la qualité de la main-d'œuvre[35]. De façon générale, ces études ignorent aussi l'influence possible des changements de productivité sur l'informatisation ainsi que la relation inverse. En raison de ces lacunes, les études antérieures ont probablement produit des estimations faussées et incohérentes du lien entre l'évolution de la productivité et l'informatisation.

Siegel tente de combler ces lacunes en estimant un modèle où les écarts de productivité totale des facteurs observés dans un ensemble d'industries américaines de la classification à quatre chiffres (CTI) sont liés aux différences dans l'utilisation de l'ordinateur et à d'autres variables indépendantes. Ses résultats laissent penser que la productivité marginale de l'investissement est plus élevée pour les ordinateurs que pour les autres formes de capital. L'auteur observe aussi un lien positif et statistiquement significatif entre la croissance de la productivité et l'investissement dans les ordinateurs, avec un taux de rendement excédentaire sur les ordinateurs estimé à environ 6 p. 100.

À l'opposé, Stiroh (1998) soutient que les écarts sectoriels ont une importance capitale dans l'explication des répercussions de l'ordinateur. L'auteur examine des données portant sur 35 industries de fabrication et de services pour la période 1947-1991. Il constate que le secteur de la fabrication des ordinateurs a bénéficié d'une croissance rapide de la PTF au cours de la période étudiée. Dans les autres secteurs, la diminution du prix de la puissance de calcul réelle a favorisé une substitution du travail et du capital non informatique, relativement coûteux, par des ordinateurs relativement peu coûteux. Mais rien n'indique que, de façon générale, cet investissement cumulatif dans la capacité de calcul ait augmenté la PTF dans les industries utilisatrices. Dans une veine semblable, Lehr et Lichtenberg (1996) examinent les tendances de l'utilisation de l'ordinateur et ses effets sur la croissance de la productivité dans un échantillon d'organismes du gouvernement fédéral

américain durant la période 1987-1992. Ils constatent que l'utilisation de l'ordinateur a contribué à hausser la productivité mais que l'impact n'est pas spectaculaire.

D'autres études s'intéressent de façon plus générale à la « technologie de l'information » (TI) et à ses liens avec la croissance de la productivité. Une étude notable à cet égard est celle de Gera, Gu et Lee (1998a) portant sur le Canada. Les auteurs examinent la mesure dans laquelle l'investissement en TI contribue à la croissance de la productivité du travail au Canada et aux États-Unis et ils se demandent si les retombées de la R-D intérieure et internationale du secteur de la TI sont importantes pour la croissance de la productivité du travail. Voici leurs principales conclusions : 1) l'investissement en TI est une importante source de croissance de la productivité du travail dans toutes les industries canadiennes; 2) les retombées de la R-D au Canada sont principalement d'envergure internationale; 3) l'investissement en TI et les retombées de la R-D internationale intégrées aux importations de TI ont un impact positif et significatif sur la croissance de la productivité du travail dans toutes les industries américaines, mais les résultats sont moins robustes que dans le cas du Canada.

L'OCDE a aussi étudié le lien existant entre l'investissement en technologie de l'information et la croissance de la productivité dans un contexte international. L'étude fait ressortir les difficultés que soulève toute tentative visant à établir avec certitude la nature du lien éventuel entre ces deux phénomènes, notamment les erreurs de mesure des variables pertinentes et une structure de décalage incertaine entre celles-ci. Par conséquent, même si l'organisme a relevé un impact positif du capital de TI sur la productivité dans le secteur des services des pays de l'OCDE, la signification statistique des coefficients n'a pas été confirmée.

En partie, l'explication des résultats quelque peu ambivalents ayant trait à l'importance des liens mesurés entre l'informatisation, l'investissement en capital de TI de façon générale et la croissance de la productivité pourrait traduire la nature hétérogène des expériences des diverses organisations. À titre d'exemple, Antonelli et Marchionatti (1998) affirment que seules les grandes entreprises intégrées verticalement peuvent « supporter » les délais qui s'écoulent entre l'adoption d'une nouvelle technologie de l'information et ses effets positifs sur la croissance de la productivité.

## 7. ACCORDS, DÉSACCORDS ET INCERTITUDES

> Au fil des progrès, l'étendue de ce que nous ignorons et la fragilité de nos données sont apparues plus clairement. (Griliches, 1998, p. 270)

Dans ce chapitre, nous tentons de résumer les principaux points sur lesquels les chercheurs s'entendent, les points sur lesquels il y a désaccord et les éléments d'incertitude entourant les liens entre la R-D et l'innovation, le changement technologique et la croissance de la productivité.

À un niveau relativement général, on observe un assez large consensus sur de nombreux points. L'un est que le changement technologique est effectivement un important facteur de croissance de la productivité. De même, on s'entend sur le fait que cette contribution n'est pas uniforme d'une entreprise, d'une industrie et d'un pays à l'autre et que la contribution du changement technologique à la croissance de la productivité n'a probablement pas changé de façon significative au cours de la période d'après-guerre.

Un second point sur lequel il y a un consensus assez large est que le taux de rendement social de la R-D (et de l'innovation, plus généralement) dépasse le taux de rendement privé par une marge substantielle. Les retombées internationales de la technologie sont particulièrement importantes pour les pays de plus petite taille comme le Canada. Les retombées internationales se propagent par différents canaux, dont l'investissement étranger direct, les échanges commerciaux et les alliances stratégiques. La robustesse de ces canaux varie selon la nature de l'activité économique; cependant, il est difficile de faire des généralisations au sujet de ces différences avec quelque précision.

Un troisième point sur lequel il y a accord assez unanime est que les attributs du contexte national influent sur les liens entre le changement technologique et la croissance de la productivité. À titre d'exemple, l'adoption d'une nouvelle technologie et les avantages concomitants seront fonction des attributs de l'économie du pays, comme l'intensité de la concurrence à laquelle les industries nationales sont exposées, le niveau de scolarisation de la main-d'œuvre et la disponibilité du capital de risque. Mais on s'entend beaucoup moins sur l'importance relative de ces divers facteurs ou sur la possibilité que l'importance des divers facteurs varie d'une industrie ou d'une activité économique à l'autre, ainsi que sur la façon dont elle peut varier.

Un quatrième point sur lequel on s'entend généralement est que la R-D financée par l'État a d'importantes retombées dans le secteur privé, même si la plus grande partie des données à cet égard a trait à l'activité du gouvernement américain et si les résultats peuvent être en partie liés à l'expérience individuelle de chaque gouvernement. On s'entend aussi sur le fait que la recherche fondamentale engendre d'importantes retombées et est étroitement complémentaire des activités de R-D du secteur privé. Les facteurs qui déterminent les retombées de la R-D financée et menée par le secteur public ressortent moins clairement. Manifestement, plus l'« intégration » entre les laboratoires de recherche du gouvernement et du secteur privé est poussée, plus les activités de R-D des secteurs privé et public seront complémentaires; cependant, la meilleure façon de structurer cette intégration est loin d'être claire. De même, les travaux publiés ont tendance à ignorer les considérations de « choix public » associées à une telle intégration : entraînera-t-elle un soutien financier accru des projets qui ont un taux de rendement privé relativement élevé et un taux de rendement social relativement bas?

Un cinquième point sur lequel il y a accord est que la protection officielle de la propriété intellectuelle est un déterminant important du comportement technologique uniquement dans certaines industries.

Enfin, presque tous les économistes reconnaissent que la mesure du changement de la productivité et du changement technologique pose de sérieux problèmes et qu'il est probable que les estimations « officielles » soient gravement biaisées. Ils s'entendent aussi pour dire que l'estimation du lien pertinent entre changement technologique et changement de productivité est une tâche ardue. Elle soulève notamment des difficultés statistiques redoutables, tandis que les études de cas dans ce domaine pourraient comporter l'inconvénient de n'être applicables qu'aux cas étudiés.

La plupart des points de consensus sont valables dans le contexte canadien. Cependant, on pourrait affirmer que certains attributs de l'expérience canadienne sont moins marqués que dans d'autres pays, notamment les États-Unis. Ainsi, nous disposons d'une somme assez importante de données indiquant que le taux de rendement de la R-D est inférieur au Canada que dans d'autres pays développés et qu'il pourrait ne pas être statistiquement significatif pour de vastes échantillons d'entreprises et d'industries. Les raisons de ces différences demeurent largement inexpliquées, en dépit des affirmations voulant qu'elles traduisent la structure industrielle du Canada, dont un niveau assez élevé de propriété étrangère et un secteur manufacturier primaire relativement important.

Dans une perspective tant canadienne qu'internationale, il semble juste de conclure que nous en savons relativement peu sur les liens entre le changement technologique et l'évolution de la productivité dans les grands domaines d'activité du « secteur public » comme l'éducation et les soins de santé. De fait, même si l'on a soutenu que les progrès de la technologie de l'information pourraient constituer la principale source de croissance future de la productivité dans les industries de services, la plupart des études consacrées aux liens entre le changement technologique et la croissance de la productivité ont porté sur les industries manufacturières ou même sur l'agriculture. Ainsi, nous en savons encore peu sur les effets de bien-être du changement technologique dans le secteur des soins de santé et la question de savoir si le changement technologique dans ce secteur contribue à améliorer ou à réduire le bien-être, d'un point de vue social, fait toujours l'objet d'un vif débat.

De même, une bonne partie de notre compréhension des retombées internationales de la technologie est liée à l'expérience des industries manufacturières. Compte tenu de la taille et de l'importance, sur le plan des politiques, des industries de services comme l'éducation et les soins de santé, la rareté relative des données sur les retombées internationales de la technologie dans ces secteurs d'activité constitue une sérieuse lacune. En particulier, devant les « échanges » et les investissements transfrontières très limités qui ont lieu dans ces industries, on est en droit de penser que les fournisseurs canadiens ne profitent pas des avantages importants associés aux retombées comme le font les manufacturiers canadiens.

## 8. PROGRAMME DE RECHERCHE FUTUR

La définition d'un programme de recherche et l'établissement des priorités traduiront en définitive les préférences du chercheur. Ainsi, Griliches (1998) définit un programme de recherche qui met l'accent sur les problèmes économétriques et de mesure des variables qui ont hypothéqué les études statistiques antérieures sur les liens entre la R-D et la croissance de la productivité. D'autres chercheurs soulignent les avantages d'une vision plus large de la structure d'innovation d'un pays, y compris le rôle des institutions d'enseignement et des établissements de recherche gouvernementaux dans le processus d'innovation et de diffusion.

S'il est certes important de parfaire notre compréhension des problèmes de mesure et des problèmes économétriques qui entravent l'identification statistique du lien entre le changement technologique et la croissance de la productivité, nous croyons que les décideurs canadiens pourraient profiter d'un examen plus approfondi de certaines questions fondamentales :

1. Tout d'abord, nous en savons très peu sur le rôle du changement technologique dans la prestation des soins de santé au Canada, au-delà du fait évident que les prestateurs canadiens de soins de santé ont adopté les nouvelles technologies et qu'en conséquence les pratiques dans ce domaine ont changé. À titre d'exemple, on est loin de s'entendre sur le fait que le changement technologique procède « trop rapidement » ou « trop lentement » sous l'angle de la productivité. En outre, nous en savons relativement peu sur les canaux par lesquels les retombées internationales de la technologie se propagent dans ce secteur, ou sur la robustesse de ces canaux, ou même sur la possibilité que les modalités institutionnelles du secteur des soins de santé au Canada influent fortement sur le cheminement des retombées technologiques internationales. Si des énoncés semblables peuvent être faits au sujet d'autres domaines d'activité du secteur public comme l'éducation, la taille relative et l'importance du secteur des soins de santé sur le plan des politiques semblent dicter que l'on s'efforce en priorité de combler les lacunes dans nos connaissances sur ce secteur.

D'autres façons de combler ce manque de connaissances semblent s'offrir même si, comme nous l'avons indiqué précédemment, la mesure de la productivité dans ce secteur est une tâche extrêmement difficile. La publication récente d'études consacrées à l'adoption de nouvelles méthodes et techniques

dans différents pays et aux conséquences de ces innovations fournit une base de comparaison entre le Canada et d'autres pays. Ainsi, des études économétriques ou des études plus qualitatives pourraient-elles nous apprendre que les innovations médicales ayant un effet favorable sur la productivité sont adoptées à un rythme plus lent au Canada qu'ailleurs? Le cas échéant, quels facteurs pourraient expliquer cette situation? Les transferts de technologie internationaux vers le Canada procèdent-ils plus lentement dans le secteur des soins de santé que dans le secteur de la fabrication? Et ainsi de suite.

Évidemment, on pourrait se poser des questions semblables au sujet du secteur de l'éducation. Si les budgets le permettent, un effort de recherche comparable dans le secteur de l'éducation pourrait se justifier par des motifs similaires à ceux invoqués pour les soins de santé. La présence d'un vaste réseau d'enseignement privé ouvrirait une perspective supplémentaire sur la question qui nous intéresse. Cela permettrait d'examiner directement les différences attribuables aux stimulants associés à la propriété dans l'optique de l'adoption et de l'exploitation de technologies nouvelles pour promouvoir la croissance de la productivité.

2. Tel que noté précédemment, les données disponibles montrent que les taux de rendement sur la R-D financée par des fonds privés au Canada sont généralement inférieurs à ceux observés aux États-Unis et, peut-être, dans d'autres pays développés. Les raisons d'un tel écart ne sont pas évidentes, bien que de nombreuses hypothèses aient été mises de l'avant. La majorité des études canadiennes ont porté sur les déterminants de l'intensité de la R-D au Canada plutôt que sur les déterminants de la « productivité marginale » des intrants technologiques. Pourtant, cette question est clairement importante parce que la promotion d'un effort accru de R-D peut constituer une politique inférieure si les fonds publics « consacrés » à l'amélioration du « rendement » des activités innovatrices au Canada offrent un avantage social net plus élevé.

Diverses pistes se présentent pour étudier la question. Cependant, il semble que la méthode la plus prometteuse soit de réaliser un certain nombre d'études de cas où des échantillons relativement homogènes d'entreprises canadiennes seraient comparés à des échantillons semblables d'entreprises étrangères. Les échantillons pourraient être constitués de manière à représenter diverses industries de fabrication et de services. Il est peu probable que les données publiées soient suffisamment détaillées pour permettre un examen adéquat des questions pertinentes. De fait, il semble plus probable que l'on doive construire une base de données originale.

On ne peut examiner ici toutes les difficultés associées à cette tâche. Cependant, il paraît possible de recueillir suffisamment de données originales, peut-être au moyen d'enquêtes, pour produire des estimations de la croissance de la productivité et des taux d'adoption des nouvelles techniques de production. Grâce à des données sur d'autres attributs des entreprises et des établissements de l'échantillon, il serait possible de faire un examen statistique des facteurs qui déterminent le lien entre la croissance de la productivité et l'adoption de nouvelles technologies. On pourrait ainsi « estimer » des équations de croissance de la productivité dans lesquelles la variable représentant l'« adoption de la technologie » serait mise en « interaction » avec des variables telles que la formation scolaire des gestionnaires et des travailleurs, la taille et l'étendue de l'organisation, etc., afin de voir quels facteurs, le cas échéant, contribuent de façon significative à renforcer ou à affaiblir le lien entre la croissance de la productivité et l'adoption des innovations. On pourrait comparer les coefficients des principales variables entre les échantillons canadien et non canadien afin de jeter un peu de lumière sur les facteurs susceptibles d'expliquer un rendement inférieur (ou supérieur) sur le plan de la productivité par suite de l'adoption de nouvelles technologies dans les organisations canadiennes.

3. Une troisième piste de recherche pour le Canada consisterait à comparer et à mettre en contraste le rôle des universités canadiennes et américaines dans la promotion et le renforcement des liens entre le changement technologique et l'évolution de la productivité au Canada. Une bonne partie de la recherche axée sur les politiques au Canada a porté sur la nature de la collaboration université-industrie dans les activités innovatrices qui se déroulent au pays. À notre connaissance, on n'a accordé pratiquement aucune attention à la façon dont les universités canadiennes font entrer dans l'économie canadienne des technologies mises au point à l'étranger; on ne s'est pas demandé non plus si et comment les universités canadiennes appuient les retombées internationales de la technologie au Canada. Étant donné l'importance reconnue des retombées internationales de la technologie pour la croissance de la productivité au Canada, cet aspect semble primordial pour les décideurs canadiens.

Il y a diverses façons d'approfondir cet aspect. Ainsi, on pourrait étudier les brevets accordés à des chercheurs universitaires canadiens afin de voir quels autres brevets y sont cités. À quels brevets ces chercheurs font-ils référence? En comparaison d'un échantillon semblable, disons, de chercheurs universitaires suédois, les chercheurs canadiens sont-ils plus portés à citer des sources étrangères dans leurs demandes de brevets, toutes choses égales par ailleurs? Les chercheurs universitaires canadiens sont-ils aussi enclins à déposer des demandes de brevets conjointement avec des chercheurs étrangers que, disons, les chercheurs universitaires suédois ou américains, toutes choses égales par ailleurs. Si les données sur les brevets ne permettent pas de faire un examen adéquat de cette question, on pourrait construire une base de données originale en procédant à des entrevues auprès des bureaux de liaison technologique des universités canadiennes.

## NOTES

1 Voir, par exemple, Chipello et Ricklefs (1999). Il y a une certaine controverse autour des estimations récentes de Statistique Canada de la performance de la productivité au Canada. Voir, par exemple, McCarthy (1999).

2 Dans son budget de février 1999, le ministre des Finances, Paul Martin, a énoncé la position du gouvernement, selon laquelle l'amélioration de la croissance de la productivité au Canada devait passer par une augmentation de la R-D et de l'innovation, et il a promis des stimulants financiers pour encourager un plus haut niveau d'activité technologique au Canada.

3 *Ibidem*.

4 Pour une interprétation modérée de cette question, voir Bresnahan et Greenstein (1996).

5 Une première revue détaillée de la performance technologique du Canada et de ses causes et conséquences figure dans le Rapport du Comité spécial du Sénat sur la politique scientifique (1970).

6 Un examen non technique des divers indices de la productivité est présenté dans Baily et Chakrabarti (1988). Un examen plus technique est présenté dans Wagner et van Ark (1996). On a démontré que pour les calculs concernant les États-Unis, les mesures de la productivité concordaient généralement pour les industries ayant des taux élevés ou faibles de croissance de la productivité; toutefois, il n'en est pas nécessairement ainsi pour les autres pays. Voir Mann (1997).

7 Les résultats d'estimation peuvent être influencés par la nature de la mesure de la production choisie, mais la portée du présent rapport ne permet pas d'examiner ces différences. Le lecteur intéressé peut consulter Basu et Fernald (1995).

8 Les conséquences de ne pas tenir compte avec précision de l'évolution de la qualité des intrants et de la production sont examinées dans un chapitre ultérieur.

9 Selon les données présentées dans Englander (1988), la présence de problèmes de mesure pourrait signifier qu'il est difficile de tirer des conclusions utiles de l'évaluation à court et à moyen terme de la productivité totale des facteurs.

10 Dans les travaux sur la croissance endogène, on décrit le potentiel de rendement essentiellement croissant de l'investissement axé sur le changement technologique. En effet, le produit marginal de la « technologie » en tant que facteur de production devrait normalement augmenter de pair avec l'accroissement des dépenses consacrées à la technologie. Cette opinion va à l'encontre de la notion traditionnelle de rendement décroissant de tout facteur de production. Pour un aperçu de la documentation sur la croissance endogène, voir Howitt (1996).

11 Voir, par exemple, Bernard et Jones (1996).

12 Il faudrait reconnaître explicitement que les dépenses de R-D sont des intrants du processus de changement technologique. Selon l'hypothèse habituelle, l'évolution de la productivité est directement liée aux dépenses de R-D; mais la nature et l'importance du lien entre les deux quantités demeurent, en définitive, une question empirique.

13 Nous examinerons les données sur cet aspect et des aspects connexes dans un chapitre ultérieur. Pour un tour d'horizon de ces questions, voir Henderson, Jaffe et Trajtenberg (1998).

14 Lev et Sougiannis (1998) démontrent de façon empirique que la présence d'avantages économiques (privés) découlant des dépenses de R-D est sensible à la formule d'amortissement des dépenses passées de R-D.

15 Ces questions sont examinées dans Griliches (1998).

16 Les questions entourant l'utilisation des brevets comme indicateur du changement technologique sont examinées en détail dans Griliches (1990).

17 Pour un exemple de cette approche, voir les études de cas présentées dans Baily et Chakrabarti (1988). Pour un examen qui s'inscrit dans le contexte canadien, voir Baldwin, Diverty et Sabourin (1996).

18 Ce débat et la documentation pertinente sont passés en revue dans Globerman (1985a).

19 Griliches (1998) et Mairesse et Sassenou (1991) renferment des examens détaillés des travaux publiés sur cette question.

20 Pour un aperçu de la documentation pertinente, voir Baily et Chakrabarti (1988).

21 Des estimations du taux de rendement sur l'investissement en R-D peuvent être obtenues indirectement en multipliant les élasticités-produits par les ratios appropriés de la R-D au stock de capital. Voir Coe et Helpman (1995).

22 La variable représentant les retombées entre industries est définie comme la somme des stocks de capital de R-D de toutes les autres industries, décalée d'une période. Pour toute entreprise de l'industrie sélectionnée, la variable intra-industrie est définie comme la somme des stocks de capital de R-D de toutes les entreprises rivales de la même industrie, décalée d'une période.

23 Dans de nombreuses études consacrées à des industries particulières, on n'a pu déceler une relation statistiquement significative entre la R-D et la croissance de la productivité. Ainsi, Mohnen, Jacques et Gallant (1996) constatent que la R-D dans les industries du bois et des pâtes et papiers au Canada n'a eu qu'une incidence minimale sur la croissance de la PTF au cours de la période 1963-1988. Le taux de rendement estimatif, bien qu'inférieur à celui obtenu pour certains pays comme les États-Unis et la Finlande, était toutefois supérieur à celui d'autres pays comme la Suède.

24 La forte présence manufacturière de la société Northern Telecom aux États-Unis renforce la plausibilité d'une telle inférence dans le cas de cette importante source de R-D.

25 Les taux de rendement estimatifs sont de l'ordre de 30 à 40 p. 100, ce qui concorde avec les résultats mentionnés dans Mohnen (1992).

26 Il y a des exceptions à cet énoncé. Ainsi, Bernstein et Mohnen (1998) constatent qu'il y a des retombées internationales des États-Unis vers le Japon, mais non en sens inverse. De même, on a observé que la variable représentant la R-D interne n'avait pas de lien significatif avec

la croissance de la productivité dans les pays autres que le Canada, par exemple la Corée. Voir Kim et Nadiri (1996).

27 Voir, par exemple, Basant et Fikkert (1996). Cela semble vrai aussi pour les retombées au niveau de l'usine. Autrement dit, les retombées qui influent sur la productivité au niveau de l'usine sont fonction de l'intensité de la R-D au niveau de l'entreprise. Voir Adams et Jaffe (1996).

28 Voir Cutler (1997).

29 Pour une analyse de cette question, voir Berndt, Cockburn et Griliches (1996).

30 Dans les travaux publiés sur cette question, on se préoccupe généralement des systèmes d'innovation nationaux et internationaux. Nelson (1993) a fait une contribution utile à ce courant de la recherche.

31 Henderson, Jaffe et Trajtenberg (1993) examinent la répartition géographique des citations de brevets. Selon ces auteurs, la probabilité que les brevets cités proviennent du même pays, du même État et de la même région statistique métropolitaine est plus élevée que la « fréquence témoin » traduisant la concentration préalable des activités de recherche connexes.

32 Pour un examen de cette question dans le contexte de l'industrie des produits forestiers au Canada, voir Globerman, Nakamura, Ruckman et Vertinsky (1998).

33 De façon plus générale, une main-d'œuvre scolarisée devrait permettre une adoption plus précoce et plus rapide de la technologie nouvelle dans une économie. Les travailleurs qui possèdent une scolarité supérieure sont plus faciles à former à l'utilisation de la technologie nouvelle et on peut penser qu'ils seront moins réticents à adopter une nouvelle technologie. Pour un examen de la théorie et des données disponibles sur cette question, voir Globerman (1985b).

34 La convergence de la R-D pharmaceutique et biotechnologique laisse penser que la protection de la propriété intellectuelle sera importante aussi pour les entreprises de biotechnologie.

35 Griliches (1994) présente un argument semblable.

## BIBLIOGRAPHIE


Adams, J.D. et A.B. Jaffe, *Bounding the Effects of R&D: An Investigation Using Matched Establishment-Firm Data*, Working Paper 5544, National Bureau of Economic Research, 1996.

Antonelli, C. et R. Marchionatti, « Technological and Organisational Change in a Process of Industrial Rejuvenation: The Case of the Italian Cotton Textile Industry », *Cambridge Journal of Economics*, vol. 22, n° 1, 1998, p. 1-18.

Baily, M.N. et A.K. Chakrabarti, *Innovation and the Productivity Crisis*, The Brookings Institution, Washington (D.C.), 1988.

Baily, M.N. et A. Garber, « Health Care Productivity », paru dans *Brookings Papers on Economic Activity, Microeconomics*, publié sous la direction de M.N. Baily, P.C. Reiss et C. Winston, 1997, p. 143-202.

Baldwin, J., B. Diverty et D. Sabourin, « Technology Use and Industrial Transformation: Empirical Perspectives », paru dans *Technology, Information and Public Policy,* publié sous la direction de T.J. Courchene, John Deutsch Institute for the Study of Economic Policy, Kingston (Ont.), 1996, p. 95-130.

Bartholomew, S., « National Systems of Biotechnology Innovation: Complex Interdependence in the Global System », *Journal of International Business Studies*, deuxième trimestre 1997, p. 241-266.

Basant, R. et B. Fikkert, « The Effects of R&D, Foreign Technology Purchase and Domestic and International Spillovers on Productivity in Indian Firms », *The Review of Economics and Statistics,* vol. 78, 1996, p. 187-198.

Basu, S. et J.G. Fernald, *Are Apparent Productive Spillovers a Figment of Specification Error?*, Working Paper 5073, National Bureau of Economic Research, 1995 (reprographié).

Beede, D.N. et K.H. Young, « Patterns of Advanced Technology Adoption and Manufacturing Performance », *Business Economics*, vol. 33, n° 2, 1998, p. 43-48.

Bernard, A.B. et C.I. Jones, « Productivity Across Industries and Countries: Time Series Theory and Evidence », *The Review of Economics and Statistics*, vol. 78, n° 1, 1996, p. 135-146.

Berndt, E.R., I.M. Cockburn et Z. Griliches, « Pharmaceutical Innovations and Market Dynamics: Tracking Effects on Price Indexes for Antidepressant Drugs », *Brookings Papers on Economic Activity, Microeconomics*, 1996, p. 133-188.

Bernstein, J.I., « Costs of Production, Intra- and Inter-industry R&D Spillovers: Canadian Evidence », *Revue canadienne d'économique*, vol. 21, n° 2, 1988, p. 324-347.

____, « The Structure of Canadian Inter-industry R&D Spillovers and the Rate of Return to R&D », *The Journal of Industrial Economics*, vol. 37, n° 3, 1989, p. 315-328.

____, *R-D et croissance de la productivité dans le secteur manufacturier et l'industrie du matériel de communications au Canada*, Document de travail n° 10, Industrie Canada, Ottawa, 1996.

Bernstein, J.I. et P. Mohnen, « International R&D Spillovers Between U.S. and Japanese R&D Intensive Sectors », *Journal of International Economics*, vol. 44, n° 2, 1998, p. 315-338.

Boucher, T., « Technical Change, Capital Investment and Productivity in U.S. Metal Working Industries », paru dans *Aggregate and Industry Level Productivity*, publié sous la direction de A. Dogramaci et N.R. Adam, Martinus Nyhoff Publishing, Boston, 1981, p. 93-121.

Bresnahan, T. et S. Greenstein, « Technical Progress and Co-Invention in Computing and in the Use of Computers », *Brookings Papers on Economic Activity, Microeconomics*, 1996, p. 1-77.

Chipello, C.J. et R. Ricklefs, « Canada's Low Productivity Clouds Competitiveness, Living Standards », *The Wall Street Journal*, le 9 février 1999, p. A19.

Coe, D.T. et E. Helpman, « International R&D Spillovers », *European Economic Review*, vol. 39, 1995, p. 859-887.

Comité spécial du Sénat sur la politique scientifique, *Une politique scientifique canadienne*, Information Canada, Ottawa, vol. 1, 1970.

Cutler, D., « Comments on Health Care Productivity », paru dans *Brookings Papers on Economic Activity, Microeconomics*, publié sous la direction de M.N. Baily, P.C. Reiss et C. Winston, 1997, p. 211-213.

Engelbrecht, H.J., « International R&D Spillovers, Human Capital and Productivity in OECD Economies: An Empirical Investigation », *European Economic Review*, vol. 41, n° 8, 1997, p. 1479-1488.

Englander, A.S., *Tests of Total Factor Productivity Measurement*, Document de travail n° 54, OCDE, Paris, 1988.

Fortin, P. et E. Helpman, *Innovation endogène et croissance : conséquences du point de vue canadien*, Document hors série n° 10, Industrie Canada, Ottawa, 1995.

Gera, S., W. Gu et F.C. Lee, *Technologie de l'information et croissance de la productivité du travail : analyse empirique de la situation au Canada et aux États-Unis*, Document de travail n° 20, Industrie Canada, Ottawa, 1998a.

____, *Progrès technique incorporé au capital et ralentissement de la croissance de la productivité au Canada*, Document de travail n° 21, Industrie Canada, Ottawa, 1998b.

Globerman, S., « Technological Diffusion in the Canadian Tool and Die Industry », *The Review of Economics and Statistics*, vol. 57, n° 4, 1975, p. 428-434.

____, *The Application of Computer Technology in the Canadian Life Insurance Industry »*, Approvisionnements et Services Canada, Ottawa, 1984.

____, « Canada », paru dans *Multinational Enterprises, Economic Structure and International Competitiveness*, publié sous la direction de J.H. Dunning, John Wiley and Sons, Chichester, 1985a, p. 187-216.

____, « Formal Education and the Adaptability of Workers and Managers to Technological Change », paru dans *Études du marché du travail, collection Documents de recherche de la Commission royale sur l'union économique et les perspectives de développement au Canada*, publié sous la direction de Craig Riddell, Approvisionnements et Services Canada, Ottawa, 1985b, p. 41-69.

Globerman, S., A. Kokko et F. Sjoholm, « International Technology Diffusion: Evidence From Swedish Patent Data », *Kyklos* (à paraître).

Globerman, S., M. Nakamura, K. Ruckman et I. Vertinsky, « Innovation, Strategy and Canada's Forest Product Industry », *Analyse de Politiques*, vol. 24, édition spéciale, 1998, p. S27-S40.

Gollop, F.M. et M.J. Roberts, « Imported Intermediate Input: Its Impact on Sectoral Productivity in U.S. Manufacturing », paru dans *Aggregate and Industry Level Productivity*, publié sous la direction de A. Dogramaci et N.R. Adam, Martinus Nyhoff Publishing, Boston, 1981, p. 149-186.

Griliches, Z., « Productivity Puzzles and R&D: Another Non-Explanation », *Journal of Economic Perspectives*, vol. 2, n° 4, 1988, p. 9-21.

____, « Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey », *Journal of Economic Literature*, vol. 28, n° 4, 1990, p. 1661-1707.

____, « Productivity, R&D and the Data Constraint », *American Economic Review*, vol. 84, n° 1, 1994, p. 1-23.

____, *R&D and Productivity: The Econometric Evidence*, University of Chicago Press, Chicago, 1998.

Henderson, R., A.B. Jaffe et M. Trajtenberg, « Geographic Localization of Knowledge Spillovers As Evidenced By Patent Citations », *The Quarterly Journal of Economics*, août 1993, p. 577-597.

____, « Universities as a Source of Commercial Technology: A Detailed Analysis of University Patenting, 1965-1988 », *The Review of Economics and Statistics*, vol. 80, n° 1, 1998, p. 119-127.

Howitt, P., « Croissance et savoir : problèmes de quantification », paru dans *La croissance fondée sur le savoir et son incidence sur les politiques microéconomiques*, publié sous la direction de P. Howitt, The University of Calgary Press, Calgary, 1996, p. 9-29.

Kim, S. et M.I. Nadiri, « R&D, Production Structure and Productivity Growth: A Comparison of the U.S., Japanese and Korean Manufacturing Sectors », New York University, C.V. Starr Center for Economic Research, 1996 (reprographié).

Lehr, W. et F. Lichtenberg, *Computer Use and Productivity Growth in Federal Government Agencies, 1987-1992*, Working Paper 5616, National Bureau of Economic Research, 1996.

Lev, B. et T. Sougiannis, « The Capitalization, Amortization and Value-Relevance of R&D », paru dans *The Economic Impact of Knowledge*, publié sous la direction de D. Neef, G.A. Siesfold et J. Cefola, Butterworth Heinemann, Boston, 1998, p. 243-272.

Mairesse, J. et M. Sassenou, « R&D and Productivity: A Survey of Econometric Studies at the Firm Level », *Science, Technology and Industry Review*, vol. 8, 1991, p. 9-43.

Mamuneas, T.P. et M.I. Nadiri, « Public R&D Policies and Cost Behavior of the U.S. Manufacturing Industries », *Journal of Public Economics*, vol. 63, 1996, p. 57-81.

Mann, C.L., *Globalization and Productivity in the United States and Germany*, International Finance Discussion Paper 595, Board of Governors of the Federal Reserve System, 1997.

Mansfield, E., « Microeconomic Policy and Technological Change », paru dans *Technology and Growth*, publié sous la direction de J.C. Fuhrer et J.S. Little, Federal Reserve Bank of Boston, Conference Proceedings, juin 1996, p. 183-200.

McCarthy, S., « Manley Brushes Aside Productivity Report », *The Globe and Mail*, le 25 mars 1999, p. B5.

Mohnen, P., *The Relationship Between R&D and Productivity Growth in Canada and Other Major Industrialized Countries*, Approvisionnements et Services Canada, Ottawa, 1992.

Mohnen, P., R. Jacques et J.S. Gallant, « Productivity and Research and Development in Two Canadian Forest Products Industries », *Forest Science*, vol. 42, n° 4, 1996, p. 1-11.

Nelson, R.R., dir., *National Innovation Systems: A Comparative Analysis*, Oxford University Press, New York, 1993.

Siegel, D., « The Impact of Computers on Manufacturing Productivity Growth: A Multiple-Indicators, Multiple-Causes Approach », *The Review of Economics and Statistics*, vol. 79, n° 1, 1997, p. 68-78.

Stiroh, K.J., « Computers, Productivity and Input Substitution », *Economic Inquiry*, vol. 36, 1998, p. 175-191.

Wagner, K. et B. van Ark, « Introduction », paru dans *International Productivity Differences: Measurement and Explanations*, publié sous la direction de K. Wagner et B. van Ark, Elsevier, Amsterdam, 1996, p. 1-22.

## PUBLICATIONS DE RECHERCHE D'INDUSTRIE CANADA

### *COLLECTION DOCUMENTS DE TRAVAIL*

N° 1 **L'intégration économique de l'Amérique du Nord : les tendances de l'investissement étranger direct et les 1 000 entreprises les plus grandes**, personnel de la Direction de l'analyse de la politique micro-économique, notamment John Knubley, Marc Legault et P. Someshwar Rao, Industrie Canada, 1994.

N° 2 **Les multinationales canadiennes : analyse de leurs activités et résultats**, personnel de la Direction de l'analyse de la politique micro-économique, notamment P. Someshwar Rao, Marc Legault et Ashfaq Ahmad, Industrie Canada, 1994.

N° 3 **Débordements transfrontaliers de R-D entre les industries du Canada et des États-Unis**, Jeffrey I. Bernstein, Université Carleton et National Bureau of Economic Research, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1994.

N° 4 **L'impact économique des activités de fusion et d'acquisition sur les entreprises**, Gilles Mcdougall, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1995.

N° 5 **La transition de l'université au monde du travail : analyse du cheminement de diplômés récents**, Ross Finnie, École d'administration publique, Université Carleton et Statistique Canada, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 6 **La mesure du coût d'observation lié aux dépenses fiscales : les stimulants à la recherche-développement**, Sally Gunz et Alan Macnaughton, Université de Waterloo, et Karen Wensley, Ernst & Young, Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1996.

N° 7 **Les structures de régie, la prise de décision et le rendement des entreprises en Amérique du Nord**, P. Someshwar Rao et Clifton R. Lee-Sing, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1996.

N° 8 **L'investissement étranger direct et l'intégration économique de la zone APEC**, Ashfaq Ahmad, P. Someshwar Rao et Colleen Barnes, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1996.

N° 9 **Les stratégies de mandat mondial des filiales canadiennes**, Julian Birkinshaw, Institute of International Business, Stockholm School of Economics, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1996.

N° 10 **R-D et croissance de la productivité dans le secteur manufacturier et l'industrie du matériel de communications au Canada**, Jeffrey I. Bernstein, Université Carleton et National Bureau of Economic Research, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1996.

N° 11 **Évolution à long terme de la convergence régionale au Canada**, Serge Coulombe, Département de sciences économiques, Université d'Ottawa, et Frank C. Lee, Industrie Canada, 1996.

N° 12 **Les répercussions de la technologie et des importations sur l'emploi et les salaires au Canada**, Frank C. Lee, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1996.

N° 13 **La formation d'alliances stratégiques dans les industries canadiennes : une analyse microéconomique**, Sunder Magun, Applied International Economics, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1996.

N° 14 **Performance de l'emploi dans l'économie du savoir**, Surendra Gera, Industrie Canada, et Philippe Massé, Développement des ressources humaines Canada, 1996.

N° 15 **L'économie du savoir et l'évolution de la production industrielle**, Surendra Gera, Industrie Canada, et Kurt Mang, ministère des Finances, 1997.

N° 16 **Stratégies commerciales des PME et des grandes entreprises au Canada**, Gilles Mcdougall et David Swimmer, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1997.

N° 17 **Incidence sur l'économie mondiale des réformes en matière d'investissement étranger et de commerce mises en œuvre en Chine**, Winnie Lam, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1997.

N° 18 **Les disparités régionales au Canada : diagnostic, tendances et leçons pour la politique économique**, Serge Coulombe, Département de sciences économiques, Université d'Ottawa, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1997.

N° 19 **Retombées de la R-D entre industries et en provenance des États-Unis, production industrielle et croissance de la productivité au Canada**, Jeffrey I. Bernstein, Université Carleton et National Bureau of Economic Research, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 20 **Technologie de l'information et croissance de la productivité du travail : analyse empirique de la situation au Canada et aux États-Unis**, Surendra Gera, Wulong Gu et Frank C. Lee, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1998.

N° 21 **Progrès technique incorporé au capital et ralentissement de la croissance de la productivité au Canada**, Surendra Gera, Wulong Gu et Frank C. Lee, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1998.

N° 23 **La restructuration de l'industrie canadienne : analyse micro-économique**, Sunder Magun, Applied International Economics, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 24 **Les politiques du gouvernement canadien à l'égard de l'investissement étranger direct au Canada**, Steven Globerman, Université Simon Fraser et Université Western Washington, et Daniel Shapiro, Université Simon Fraser, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 25 **Une évaluation structuraliste des politiques technologiques – Pertinence du modèle schumpétérien**, Richard G. Lipsey et Kenneth Carlaw, Université Simon Fraser, avec la collaboration de Davit D. Akman, chercheur associé, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 26 **Commerce intrasociété des entreprises transnationales étrangères au Canada**, Richard A. Cameron, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1998.

N° 27 **La hausse récente des demandes de brevets et la performance des principaux pays industrialisés sur le plan de l'innovation – Tendances et explications**, Mohammed Rafiquzzaman et Lori Whewell, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1998.

N° 28 **Technologie et demande de compétences : une analyse au niveau de l'industrie**, Surendra Gera et Wulong Gu, Industrie Canada, et Zhengxi Lin, Statistique Canada, 1999.

N° 29 **L'écart de productivité entre les entreprises canadiennes et américaines**, Frank C. Lee et Jianmin Tang, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1999.

N° 30 **Investissement étranger direct et croissance de la productivité : l'expérience du Canada comme pays d'accueil**, Surendra Gera, Wulong Gu et Frank C. Lee, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1999.

N° 31 **Les entreprises manufacturières sous contrôle canadien sont-elles moins productives que leurs concurrentes sous contrôle étranger?** Someshwar Rao et Jianmin Tang, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 2000.

N° 32 **Le paradoxe canado-américain de la croissance de la productivité**, Serge Coulombe, Département de sciences économiques, Université d'Ottawa, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 2000.

### *COLLECTION DOCUMENTS DE DISCUSSION*

N° 1 **Les multinationales comme agents du changement : définition d'une nouvelle politique canadienne en matière d'investissement étranger direct**, Lorraine Eden, Université Carleton, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1994.

N° 2 **Le changement technologique et les institutions économiques internationales**, Sylvia Ostry, Centre for International Studies, Université de Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 3 **La régie des sociétés au Canada et les choix sur le plan des politiques**, Ronald J. Daniels, Faculté de droit, Université de Toronto, et Randall Morck, Faculté d'administration des affaires, Université de l'Alberta, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1996.

N° 4 **L'investissement étranger direct et les politiques d'encadrement du marché : réduire les frictions dans les politiques axées sur la concurrence et la propriété intellectuelle au sein de l'APEC**, Ronald Hirshhorn, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1996.

N° 5 **La recherche d'Industrie Canada sur l'investissement étranger : enseignements et incidence sur les politiques**, Ronald Hirshhorn, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1997.

N° 6 **Rivalité sur les marchés internationaux et nouveaux enjeux pour l'Organisation mondiale du commerce**, Edward M. Graham, Institute for International Economics, Washington (D.C.), dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 7 **Conséquences des restrictions à la propriété étrangère pour l'économie canadienne – Une analyse sectorielle,** Steven Globerman, Université Western Washington, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

N° 8 **Les déterminants de la croissance de la productivité canadienne : enjeux et perspectives**, Richard G. Harris, Université Simon Fraser et Institut canadien des recherches avancées, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

N° 9 **Le Canada manque-t-il le « bateau technologique »? Examen des données sur les brevets,** Manuel Trajtenberg, Université de Tel-Aviv, National Bureau of Economic Research et Institut canadien des recherches avancées, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 2000.

### *COLLECTION DOCUMENTS HORS SÉRIE*

N° 1 **Obstacles officiels et officieux à l'investissement dans les pays du G-7 : analyse par pays**, personnel de la Direction de l'analyse de la politique micro-économique, notamment Ashfaq Ahmad, Colleen Barnes, John Knubley, Rosemary D. MacDonald et Christopher Wilkie, Industrie Canada, 1994.

**Obstacles officiels et officieux à l'investissement dans les pays du G-7 : résumé et conclusions**, personnel de la Direction de l'analyse de la politique micro-économique, notamment Ashfaq Ahmad, Colleen Barnes et John Knubley, Industrie Canada, 1994.

N° 2 **Les initiatives d'expansion commerciale dans les filiales de multinationales au Canada**, Julian Birkinshaw, Université Western Ontario, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 3 **Le rôle des consortiums de R-D dans le développement de la technologie**, Vinod Kumar, Research Centre for Technology Management, Université Carleton, et Sunder Magun, Centre de droit et de politique commerciale, Université d'Ottawa et Université Carleton, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 4 **Écarts hommes/femmes dans les programmes universitaires**, Sid Gilbert, Université de Guelph, et Alan Pomfret, King's College, Université Western Ontario, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 5 **La compétitivité : notions et mesures**, Donald G. McFetridge, Département d'économique, Université Carleton, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 6 **Aspects institutionnels des stimulants fiscaux à la R-D : le crédit d'impôt à la RS&DE**, G. Bruce Doern, École d'administration publique, Université Carleton, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 7 **La politique de concurrence en tant que dimension de la politique économique : une analyse comparative**, Robert D. Anderson et S. Dev Khosla, Direction de l'économique et des affaires internationales, Bureau de la politique de concurrence, Industrie Canada, 1995.

N° 8 **Mécanismes et pratiques d'évaluation des répercussions sociales et culturelles des sciences et de la technologie**, Liora Salter, Osgoode Hall Law School, Université de Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 9 **Sciences et technologie : perspectives sur les politiques publiques**, Donald G. McFetridge, Département d'économique, Université Carleton, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 10 **Innovation endogène et croissance : conséquences du point de vue canadien**, Pierre Fortin, Université du Québec à Montréal et Institut canadien des recherches avancées, et Elhanan Helpman, Université de Tel-Aviv et Institut canadien des recherches avancées, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 11 **Les rapports université-industrie en sciences et technologie**, Jérôme Doutriaux, Université d'Ottawa, et Margaret Barker, Meg Barker Consulting, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 12 **Technologie et économie : examen de certaines relations critiques**, Michael Gibbons, Université de Sussex, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 13 **Le perfectionnement des compétences des cadres au Canada**, Keith Newton, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1995.

N° 14 **Le facteur humain dans le rendement des entreprises : stratégies de gestion axées sur la productivité et la compétitivité dans l'économie du savoir**, Keith Newton, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1996.

N° 15 **Les charges sociales et l'emploi : un examen de la documentation**, Joni Baran, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1996.

N° 16 **Le développement durable : concepts, mesures et déficiences des marchés et des politiques au niveau de l'économie ouverte, de l'industrie et de l'entreprise**, Philippe Crabbé, Institut de recherche sur l'environnement et l'économie, Université d'Ottawa, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1997.

N° 17 **La mesure du développement durable : étude des pratiques en vigueur**, Peter Hardi et Stephan Barg, avec la collaboration de Tony Hodge et Laszlo Pinter, Institut international du développement durable, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1997.

N° 18 **Réduction des obstacles réglementaires au commerce : leçons à tirer de l'expérience européenne pour le Canada**, Ramesh Chaitoo et Michael Hart, Centre de droit et de politique commerciale, Université Carleton, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1997.

N° 19 **Analyse des mécanismes de règlement des différends commerciaux internationaux et conséquences pour l'Accord canadien sur le commerce intérieur**, E. Wayne Clendenning et Robert J. Clendenning, E. Wayne Clendenning & Associates Inc., dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1997.

N° 20 **Les entreprises autochtones : caractéristiques et stratégies de croissance**, David Caldwell et Pamela Hunt, Centre de conseils en gestion, dans le cadre d'un contrat avec Entreprise autochtone Canada, Industrie Canada, 1998.

N° 21 **La recherche universitaire et la commercialisation de la propriété intellectuelle au Canada**, Wulong Gu et Lori Whewell, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1999.

N° 22 **La comparaison des niveaux de vie au Canada et aux États-Unis – Une perspective régionale**, Raynald Létourneau et Martine Lajoie, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 2000.

N° 23 **Liens entre changement technologique et croissance de la productivité**, Steven Globerman, Université Western Washington, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 2000.

### *COLLECTION LE CANADA AU 21e SIÈCLE*

N° 1 **Tendances mondiales : 1980-2015 et au delà**, J. Bradford DeLong, Université de la Californie, Berkeley, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 2 **Libéralisation étendue axée sur les aspects fondamentaux : un cadre pour la politique commerciale canadienne**, Randy Wigle, Université Wilfrid Laurier, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 3 **L'intégration économique de l'Amérique du Nord : les 25 dernières années et les 25 prochaines années**, Gary C. Hufbauer et Jeffrey J. Schott, Institute for International Economics, Washington (D.C.), dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 4 **Les tendances démographiques au Canada, 1996-2006 : les répercussions sur les secteurs public et privé**, David K. Foot, Richard A. Loreto et Thomas W. McCormack, Madison Avenue Demographics Group, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 5 **Investissement : les défis à relever au Canada**, Ronald P.M. Giammarino, Université de la Colombie-Britannique, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 6 **Visualiser le 21e siècle – Investissements en infrastructure pour la croissance économique, le bien-être et le mieux-être des Canadiens**, Christian DeBresson, Université du Québec à Montréal, et Stéphanie Barker, Université de Montréal, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 7 **Les conséquences du changement technologique pour les politiques de main-d'œuvre**, Julian R. Betts, Université de la Californie à San Diego, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 8 **L'économie et l'environnement : l'expérience récente du Canada et les perspectives d'avenir**, Brian R. Copeland, Université de la Colombie-Britannique, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 9 **Réactions individuelles à l'évolution du marché du travail au Canada**, Paul Beaudry et David A. Green, Université de la Colombie-Britannique, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 10 **La réaction des entreprises – L'innovation à l'ère de l'information**, Randall Morck, Université de l'Alberta, et Bernard Yeung, Université du Michigan, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 11 **Institutions et croissance – Les politiques-cadres en tant qu'instrument de compétitivité**, Ronald J. Daniels, Université de Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

### *COLLECTION PERSPECTIVES SUR LE LIBRE-ÉCHANGE NORD-AMÉRICAIN*

N° 1 **La fabrication dans les pays de petite taille peut-elle survivre à la libéralisation du commerce? L'expérience de l'Accord de libre-échange Canada-États-Unis**, Keith Head et John Ries, Université de la Colombie-Britannique, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

N° 2 **Modélisation des liens entre le commerce et l'investissement étranger direct au Canada**, Walid Hejazi et A. Edward Safarian, Université de Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

N° 3 **Libéralisation des échanges et migration de travailleurs qualifiés**, Steven Globerman, Université Western Washington et Université Simon Fraser, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

N° 4 **Évolution du profil sectoriel et professionnel du commerce international du Canada**, Peter Dungan et Steve Murphy, Institute for Policy Analysis, Université de Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

N° 5 **Incidence de l'Accord de libre-échange entre le Canada et les États-Unis sur le commerce interprovincial**, John F. Helliwell, Université de la Colombie-Britannique, Frank C. Lee, Industrie Canada, et Hans Messinger, Statistique Canada, 1999.

N° 6 **L'essentiel sur l'accord de libre-échange Canada-États-Unis,** Daniel Trefler, Université de Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

### *PUBLICATIONS CONJOINTES*

**Capital Budgeting in the Public Sector**, en collaboration avec le John Deutsch Institute, sous la direction de Jack Mintz et Ross S. Preston, 1994.

**Infrastructure and Competitiveness**, en collaboration avec le John Deutsch Institute, sous la direction de Jack Mintz et Ross S. Preston, 1994.

**Getting the Green Light: Environmental Regulation and Investment in Canada**, en collaboration avec l'Institut C.D. Howe, sous la direction de Jamie Benidickson, G. Bruce Doern et Nancy Olewiler, 1994.

Pour obtenir des exemplaires de l'un des documents publiés dans le cadre du Programme des publications de recherche d'Industrie Canada, veuillez communiquer avec le :

Responsable des publications
Analyse de la politique micro-économique
Industrie Canada
5e étage, tour Ouest
235, rue Queen
Ottawa (Ontario) K1A 0H5

Tél. : (613) 952-5704
Fax : (613) 991-1261
Courriel : mepa.apme@ic.gc.ca